22/04/2020a

L'ECHEC TOTAL DE l'EOLIEN EN CE QUI CONCERNE LA REDUCTION DES EMISSIONS DE CO2

Pour un moratoire immédiat, et une redéfinition des objectifs associés à la transition écologique en ce qui concerne la production d'électricité.

Dossier constitué par Jean-Bernard Deloly (ingénieur retraité, ancien élève de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications), avec la collaboration de Michel Lambert (ingénieur retraité EDF).

SYNTHESE DU DOSSIER

Un peu d'histoire…

▪ A l'issue de la mise en place (1979-2002)[1] du parc nucléaire actuel, qui assure depuis 75% de sa production électrique, la France, qui disposait par ailleurs d'une importante production hydraulique (environ 15%), s'est retrouvée dotée d' un système de production d'électricité :
- qui garantit son indépendance : la puissance installée, totalement pilotable, est largement capable de couvrir les pointes de consommation (la consommation est restée stable depuis).
- qui en a fait, et de très loin le grand pays dont l'électricité est la plus décarbonée: le thermique à combustible fossile (charbon, fuel ; gaz) , seul émetteur net de CO2, ne représente même pas 10% de la production totale.
- qui fournissait, avant l'introduction de l'éolien et du solaire, une électricité très bon marché, le prix de revient du nucléaire et de l'hydraulique sur la durée de vie des centrales étant très inférieur à celui du thermique, qui dans la plupart des pays constitue l'essentiel de la production.
- qui peut être maintenu en place, au vu des éléments d'information aujourd'hui disponibles, largement jusqu'en 2035. Ainsi, aux USA, tous les réacteurs en service (une centaine environ) ont obtenu l'autorisation de fonctionner au moins 60 ans. Cela mène à 2039 pour le début du démantèlement du parc actuel.

▪ C'est en 1990 qu'a débuté l'éolien industriel, les 3 pays pilotes ayant été l'Allemagne, le Danemark et l'Espagne. A la faveur des subventions nationales, dès la fin de la décennie leurs industriels étaient devenus les leaders mondiaux du domaine, et un important lobby éolien s'était constitué au sein de l'Europe.

Faisant suite au protocole de Kyoto de 1997, dont l'objet principal était la réduction de la production de gaz à effet de serre, la directive 2001/77/CE a repris, pour l'éolien et le solaire photovoltaïque (alors marginal), les dispositions clés mises en place dans les pays pilotes :
- Priorité d'injection sur le réseau. Autrement dit toute l'électricité produite doit être injectée sur le réseau, quelle que soit son utilité réelle à l'instant où elle est produite (l'électricité, qui n'est pas stockable, doit être consommée tout de suite), et quels que soit les problèmes que cela peut poser : c'est au reste du monde de faire ce qu'il faut pour qu'elle puisse être injectée.
- Achat à un prix garanti pendant X années (pour l'éolien initialement 15, aujourd'hui 20).
- Dérégulation de l'implantation des éoliennes.

[1]« L'âge » exact d'un réacteur nucléaire dépend de son utilisation, et il est en fait réactualisé à chaque visite décennale: voir l'article de Wikipedia en ref.31. La fourchette 1979-2002 correspond à l'âge 0, tel qu'il est connu actuellement.

C'est sa transposition la même année dans la loi française qui a lancé en France l'éolien, dont il était évident dès le départ qu'ils ne pouvait pas avoir un grand intérêt, puisque l'électricité y était déjà décarbonée à 90%. C'est en 2006, soit dix ans après l'Allemagne, que l'éolien y est devenu significatif.

Le prix d'achat garanti ayant toujours été calculé de façon à ménager une marge bénéficiaire très incitative, on conçoit aisément que les privilèges conférés par ces dispositions aient fait de l'éolien (suivi plus tard par le solaire) un des investissements les plus sûrs et les plus rentables que l'on puisse imaginer sur notre planète, et que des développements très rapides s'en soient systématiquement ensuivi.

De plus, depuis la directive 2001/77/CE, en ce qui concerne la production d'électricité, les objectifs à atteindre sont exprimés non pas en objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, comme cela aurait du être, mais uniquement en objectifs de proportion d'électricité produite issue de sources renouvelables. Les gouvernements d'un certain nombre de pays, dont la France, ont accepté de se voir fixés des objectifs « ambitieux », ce qui revenait très exactement à se voir fixés des objectifs élevés d'éolien et de solaire, seules sources ayant le potentiel.de développement nécessaire.
Ainsi, depuis maintenant presque 20 ans, grâce à ce double tour de passe-passe, il est de fait inscrit dans la loi que réduire au maximum les émissions de gaz à effet de serre, c'est maximiser la production d'éolien et de solaire. C'est ainsi qu'ont pu être justifiés les privilèges exorbitants qui leur ont été concédés, et qu'a pu de plus, avec la complicité des principaux médias, rester jusqu'à présent totalement évacuée du débat public la question de leur efficacité réelle.

L'importance du prix d'achat garanti a en outre toujours permis aux promoteurs éoliens, tout en conservant un bénéfice substantiel, de dégager des sommes très importantes pour une rémunération très motivante des propriétaires sur les terres desquels les éoliennes sont installées, ainsi que pour l'investissement des médias, l'assistance juridique, le lobbying à tous les niveaux politiques, ainsi qu'à la conduite d'actions de nature à déblayer les divers obstacles qui peuvent se présenter.

▪ En ce qui concerne la France, depuis la loi Brottes (2013), l'installation d'éoliennes est à peu près totalement dérégulée, le gouvernement actuel s'attachant à faire sauter les quelques obstacles qui subsistent.
L'éolien et le solaire sont à l'abri des politiques d'austérité, du fait que l'essentiel des subventions est assuré par des taxes prélevées sur la consommation, et non par le budget de l'état: leur financement est neutre vis-à-vis de la dette publique. L'éolien français est donc à l'abri de la mésaventure rencontrée par l'éolien espagnol, dont l'extension a été stoppée net en 2013.

Pour 2030 le gouvernement français s'est engagé vis-à-vis de l'Union Européenne à ce que 40% de l'électricité produite par la France provienne de sources renouvelables. Elle n'en est qu'à 20%. Aussi le triplement de l'éolien et le quadruplement du solaire ont-t-ils été inscrits dans le PPE 2018-2028. L'exemple de l'Allemagne, dont les gisements d'éolien et de solaire sont bien moindres que les nôtres, montre que c'est tout à fait possible. Il est peu contestable que bien des sites terrestres sont très loin d'être totalement exploités, et les milliers de kilomètres du littoral sous-marin français sont toujours vierges de toute éolienne. Quant aux toitures, elles sont manifestement loin d'avoir été toutes couvertes.

Avec la croissance du parc, les problèmes que posent l'éolien (surproduction lorsque le vent souffle lorsque l'on en a pas besoin; menaces sur la stabilité du réseau du fait de son irrégularité) amèneront de plus en plus à ne pas injecter sur le réseau la totalité de la production. Cela n'aura pas d'incidence sur sa rentabilité: les dispositions permettant alors de dédommager les producteurs de l'électricité non produite sont en place.

L'échec total de 15 ans d'éolien en France : un moratoire immédiat s'impose

▪ Les bilans RTE depuis 2006 ne font apparaître aucune diminution visible de la production d'électricité issue du thermique à combustible fossile, alors même que le total de l'éolien et du solaire représentait, en 2018, 70% du thermique à combustible fossile de 2006 (et l'éolien seul 52%). En fait c'est du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été évincé par la priorité d'injection de l'éolien et du solaire, et non du thermique à combustible fossile, contrairement à ce qu'affirme une étude grossièrement erronée de l'ADEME (Agence pour le développement et la maîtrise de l'énergie).

▪ N'ont donc à ce jour strictement servi à rien l'installation d'environ 8000 d'éoliennes (qu'il faut déjà commencer à remplacer), avec son cortège d'impacts sur les paysages, de problèmes sanitaires, d'atteinte à la biodiversité, de pollutions diverses et de scandales multiples[2], ainsi que la mise en place ou le renforcement de milliers de kilomètres de lignes électriques. N'ont toujours servi à rien un coût pour les consommateurs et la collectivité nationale de plus d'une dizaine de milliards d'euros, au profit pour l'essentiel d'acteurs étrangers. Faut-il vraiment, comme cela est en cours, tripler tout cela d'ici 2028 ?

Suite à ce moratoire, des pistes pour alimenter la réflexion, qui devra porter sur la politique lancée en 2001 considérée dans son ensemble

▪ Le retour d'expérience de 30 ans d'éolien en Europe démontre que, en l'absence de stockage de masse, les sources intermittentes que sont l'éolien et le solaire sont incapables de réduire significativement les émissions de CO2.

- L'exemple de l'Allemagne est emblématique. C'est en effet dès 1990, dix ans avant la France, qu'elle s'est lancée dans la transition écologique. Selon l'estimation de Jean-Marc Jancovici, elle y avait en 2014 consacré 250 à 300 milliards d'euros, soit le coût de la reconstruction du parc nucléaire français à neuf (c'est-à-dire en remplaçant les réacteurs actuels par des EPR, qui intègrent une sécurité renforcée, et pourront, si nécessaire, être alimentés uniquement en combustible recyclé MOX, ce qui permet une meilleure utilisation du combustible et augmente ainsi le potentiel énergétique des réserves d'uranium).

- Certes, plus de 20% de la production électrique allemande provient aujourd'hui de l'éolien et du solaire. Mais, comme en France, le thermique à combustible fossile n'a pas diminué. Aujourd'hui, comme en 1996, il représente les 2/3 de la consommation allemande (qui est d'ailleurs restée stable). Comme en France, c'est du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été essentiellement remplacé. En outre, si l'Allemagne parvient à injecter sur son réseau plus de 20% d'éolien et de solaire, c'est n'est que parce que, grâce à l'interconnexion des réseaux nationaux européens, elle peut évacuer vers les pays voisins les surplus de production de plus en plus importants qui en résultent. Insistons bien sur l'emploi du terme « évacuer », car en l'occurrence il ne s'agit nullement d'exportations résultant d'un contrat librement consenti entre l'importateur et exportateur. Quand l'Allemagne injecte en en un point donné de l'éolien ou du solaire, conformément à la règle européenne transposée dans son droit national imposant qu'on leur donne la priorité, les lois de Kirchoff étant ce qu'elles sont, il se répand sur l'ensemble des réseaux nationaux en fonction de la capacité des lignes et de leur encombrement, jusqu'à ce qu'il ait été consommé, ou dissipé par les pertes en ligne. Lorsqu'il arrive en France, en particulier, il se rajoute à l'éolien et au solaire locaux pour évincer un peu plus le nucléaire français, dont il contribue donc à diminuer la rentabilité sans diminuer pour autant les émissions de CO2. Si l'on considère maintenant non pas simplement l'Allemagne et la France, mais l'ensemble des réseaux interconnectés européens, il n'y a pas grand risque à parier qu'il n'y a toujours pas eu de réduction significative des émissions de CO2.

[2] On pourra tout particulièrement lire l'excellent ouvrage de Fabien Bouglé « Eoliennes- la face noire de la transition écologique », éditions du Rocher.

- En outre les centrales nucléaires fermées ont été remplacées par des centrales thermiques de puissance installée au moins équivalente, de façon à ce que la puissance installée pilotable demeure en toute circonstance supérieure à la puissance consommée maximum, quelle que soit par ailleurs la puissance installée de sources intermittentes (ce qui n'est à vrai dire qu'une règle de simple bon sens).

▪ La cause de cet échec est à peu près évidente: c'est que le vent et l'ensoleillement sont très irréguliers et absolument pas maîtrisables, et que les problèmes qui en résultent sont insolubles sans stockage. Mais, en pratique, on ne sait pas stocker l'électricité aux échelles qui seraient nécessaires, et on ne le saura toujours pas à horizon visible.

- Toutefois les mécanismes d'où résulte cette inaptitude des sources intermittentes que sont l'éolien et le solaire à réduire l'utilisation du thermique à combustible fossile demandent très souvent une certaine attention. Pourquoi, par exemple, lorsque la puissance installée pilotable est constituée de nucléaire et de thermique, c'est le nucléaire qui est évincé par l'intermittent, et pas le thermique ? Le dossier joint s'attache à décrire ces mécanismes.

- Il est régulièrement expliqué qu'il y a un moyen très simple de régler les problèmes dus à l'intermittence de l'éolien: comme « le vent souffle toujours quelque part », c'est de multiplier les éoliennes de façon à aller le chercher partout où il se trouve. En fait, cet « effet de foisonnement » n'existe tout simplement pas, même à l'échelle de l'Europe.

- En ce qui concerne le stockage, aux échelles concernées, il n'y a que deux voies envisageables:

a) L'utilisation de barrages réversibles (STEP, comme « Station de Pompage et de Turbinage »). Il s'agit d'une technique datant de plus d'un siècle, qui est parfaitement maîtrisée, et dont le rendement est relativement bon (70% en comptant les pertes en ligne). Mais on bute immédiatement sur le fait que, pour stocker les quantités d'électricité nécessaires, il faudrait construire de nouvelles STEP à des échelles pharaoniques.

b) La production de gaz de synthèse (production d'hydrogène par électrolyse, puis éventuellement, de méthane par combinaison de l'hydrogène et de CO2), suivie de son déstockage pour produire de l'électricité au moyen d'une centrale thermique. Mais, indépendamment du fait que l'on n'a actuellement aucune référence industrielle, et que tout resterait à mettre en place, on butera toujours sur le fait que le rendement global de l'opération est désastreux: au mieux 30% lorsque l'on passe par l'hydrogène, et 25% lorsque l'on passe par l'étape supplémentaire de la méthanation.

▪ La fable de l'éolien et du solaire, en tant qu'alternative décarbonée au nucléaire.

- Au nom de la nécessité de « diversifier » ses sources d'approvisionnement, le gouvernement français a engagé la France dans une politique de remplacement plus ou moins complet du nucléaire par des sources renouvelables : un tiers au moins de la production nucléaire actuelle devra avoir été supprimé en 2035, et ce tiers ne pourra qu'augmenter au fur et à mesure que seront arrêtés les réacteurs en service.

On ne lui fera pas l'injure de penser qu'il n'a pas perçu ce qu'avait d'étrange une diversification consistant à remplacer une source pilotable totalement décarbonée, et qui n'a plus à faire ses preuves, par des sources certes décarbonées elles aussi, mais intermittentes, avec les problèmes apparemment insolubles qui en résultent.

- On observera que cette politique ouvre un boulevard à l'éolien et le solaire : car c'est dorénavant par la nécessité d'être à ce rendez-vous de 2035 que sont justifiés le triplement de l'éolien et le quadruplement du solaire d'ici 2028.

Mais, tant que l'on ne disposera pas de stockage de masse, l'éolien et le solaire resteront toujours aussi inefficaces dans la réduction des émissions de CO2. Comme nul stockage de masse n'est envisagé avant 2035, que ce soit dans le PPE ou dans les prospectives de l'ADEME, on a d'ores et déjà la certitude qu'à cette date la 2ème génération d'éoliennes en cours d'implantation, qui arrivera alors en fin de vie, aura été tout aussi inutile que la première.

- On observera aussi que l'on a sous les yeux les résultats de l'Allemagne, qui s'est très exactement lancée, elle aussi, et en y consacrant des efforts gigantesques, dans une sortie du nucléaire sans stockage de masse.
A moins de renoncer à son indépendance, la France devra, comme elle, ne pas réduire sa puissance installée pilotable. Il n'y a que deux solutions:

a) Remplacer, comme l'Allemagne, les centrales nucléaires arrêtées par des centrales thermiques à combustible fossile de puissance installée au moins égale. Mais cela ne pourra que dégrader le bilan carbone. On a d'ailleurs sous les yeux la situation qui serait approximativement la nôtre si, comme en Allemagne, le nucléaire ne représentait plus que 20% de la production totale: le thermique en représenterait les 2/3.

b) Pour ne pas dégrader le bilan carbone, conserver les centrales nucléaires, dont la production sera simplement diminuée de ce qu'il faut pour laisser la place à l'intermittent (c'est d'ailleurs très exactement ce qui se passe aujourd'hui). Mais qui ne sent l'absurdité, à tous points de vue, d'une politique consistant à n'utiliser des centrales nucléaires que pour suppléer à l'éolien et au solaire lorsqu'il n'y a pas assez de vent ou du soleil?

- Mais voyons maintenant ce à quoi mènerait l'emploi d'un stockage de masse. Pour maintenir la sécurité de l'approvisionnement, environ 50% de l'éolien et 80% du solaire devraient passer par du stockage (estimation de Jean-Marc Jancovici). Construire en France ne serait-ce que quelques pour cent des nouvelles STEP qui seraient nécessaires étant totalement exclu, il ne reste plus que le passage par du gaz de synthèse. Mais, en considérant (de façon optimiste: voir plus haut) que le rendement est 1/3, un calcul simple montre que, pour remplacer uniquement par de l'éolien 1/3 du nucléaire actuel, c'est au départ plus des 2/3 de ce dernier qui devra être produit. Cela nécessiterait la multiplication par 10 de la puissance installée fin 2018 (soit approximativement 80 000 éoliennes…). Si c'est uniquement par du solaire, c'est plus de 80% du nucléaire actuel que devront produire au départ les panneaux solaires. Cela nécessiterait la multiplication par plus de 30 de la puissance installée fin 2018…

▪ Le bobard de la « compétitivité économique » de l'éolien.

- La très importante croissance de l'éolien résulte mécaniquement des privilèges exorbitants qui lui ont été conférés, et non d'une quelconque compétitivité. Il n'y a d'ailleurs pas d'exemple où la suppression du prix d'achat garanti n'ait stoppé net les nouvelles installations, et on chercherait en vain, dans les études prospectives de l'ADEME, 30 ans après les débuts de l'éolien, une indication de la date à partir de laquelle il devra enfin voler de ses propres ailes.
Pourtant on nous explique un peu partout, à la suite de l'ADEME, que « l'éolien est proche de la compétitivité», voire que « l'éolien est d'ores et déjà compétitif ». On ne peut en fait arriver à de telles conclusions qu'en se limitant à comparer des prix de revient en sortie de sources de production. Effectivement, avec l'apparition d'éoliennes de plus en plus gigantesques, ce prix de revient a tendance à baisser.
Mais si l'on considère, comme il se doit, le prix de revient du kwh éolien **garanti** au niveau de l'utilisateur, autrement dit si on intègre tout ce qu'il faut faire pour rendre utilisable une électricité irrégulièrement délivrée, de très mauvaise qualité, et qu'il faut de plus collecter en des milliers de points éparpillés sur tout le territoire, on constate qu'il est strictement impossible que l'éolien devienne un jour compétitif avec une source pilotable classique. Ainsi, une étude de l'ADEME ayant conclu que le scénario 2060 économiquement le plus compétitif était le scénario 100% renouvelable (c'est-à-dire avec plus de nucléaire du tout), J.M. Jancovici, en comparant ce scénario à celui où il n'y aurait ni éolien ni solaire, mais uniquement du nucléaire, a montré que le prix de revient du kwh garanti était en fait au moins 6 fois supérieur dans le premier cas.

- Le fait que le développement massif de l'éolien se fasse aujourd'hui dans un contexte où il existe un « marché » de l'électricité est souvent invoqué comme une justification de la compétitivité de l'éolien. C'est tout simplement une escroquerie, puisque, de par la loi, comme on l'a vu, il a la priorité d'injection. De plus, quel que soit le résultat du « marché », un « complément de rémunération » assure la rémunération du producteur de l'électricité injecté à un prix garanti.

Pour faire bonne mesure le marché permet de rémunérer discrètement des « capacités négatives ». Autrement dit de rémunérer l'électricité éolienne que l'on ne peut injecter du fait des problèmes qu'elle poserait.

La nécessité absolue d'introduire enfin dans le débat public la question de l'efficacité réelle de l'éolien et du solaire vis-à-vis de la réduction des émissions de CO2, en fixant directement des objectifs de réduction de l'électricité obtenue à partir de combustible fossile, et non plus des objectifs d'augmentation de l'électricité issue de sources renouvelables.

Il pourrait en résulter une profonde redéfinition de la politique lancée il y a 20 ans, et cela devrait mettre fin à la situation actuelle où, organisé par la loi elle-même, un véritable racket du consommateur et de la collectivité nationale a été mis en place, et où, au nom de l'écologie, en dérèglementant l'installation des éoliennes, la loi a déblayé le terrain pour la dévastation de la nature, qu'il s'agisse des écosystèmes terrestres ou de ceux des littoraux sous-marins.

En effet une caractéristique fondamentale des sources renouvelables, qui a dès le début suscité un certain rejet vis-à-vis de l'éolien, et qui le rend aujourd'hui insupportable, est qu'elles exploitent une énergie très diffuse. Cela nécessite le mitage d'une importante partie du territoire, et éventuellement du littoral sous-marin (lequel concentre la majeure partie des ressources piscicoles), par des installations de plus en plus gigantesques, ainsi que par les lignes de transport associées.

Car, bien que réparti un peu partout, contrairement à la présentation qui en est généralement faite (qui n'a lu ou entendu, à l'occasion de l'installation d'une « ferme éolienne », qu'elle fournira la consommation en électricité de la petite ville Y voisine ?), l'éolien n'est absolument pas une source d'électricité décentralisée. Pour que, du fait de son intermittence, il puisse effectivement être exploité de façon non marginale, il faut pouvoir lui faire traverser la France (et même l'Europe: c'est d'ailleurs l'objectif officiel actuel).

L’ECHEC TOTAL DE l’EOLIEN EN CE QUI CONCERNE LA REDUCTION DES EMISSIONS DE CO2

Pour un moratoire immédiat, et une redéfinition des objectifs associés à la transition écologique en ce qui concerne la production d’électricité.

LE DOSSIER

SOMMAIRE

1- Introduction : organisation du dossier

2-Les diverses sources de production d'électricité. Quelques chiffres.
2-1 Terminologie
2-2 Structure de la production d'électricité en France ; la distinction fondamentale, au plan technique, est celle entre sources « pilotables » et sources « intermittentes », et non entre sources « renouvelables » et sources « non renouvelables ».
2-3 L'éolien dans le monde

3- Données techniques.
3-1 Sauf à disposer d'ouvrages pharaoniques, on ne sait pas stocker l'électricité aux échelles concernées, et cette situation n'est pas prête d'évoluer, du fait des lois même de la physique.
3-1-1 Il n'existe pas en effet aujourd'hui d'autres moyens de stockage, aux échelles concernées, que les « STEP » (« Stations de Transfert d'Energie par Pompage »).
3-1-2 Le seul autre moyen de stockage de masse évoqué est la production par électrolyse de gaz de synthèse (hydrogène, puis éventuellement méthane), puis son utilisation pour produire de l'électricité. Mais le rendement d'une telle opération est désastreux (au mieux 30%).
3-2 Durée, amplitude et rapidité des fluctuations de l'éolien,
3-2-1 Au niveau local
3-2-2 A des échelles plus importantes : le bobard de « l'effet de foisonnement »
3-2-3 Tout ce qui a été dit ci-dessus vaut aussi pour l'éolien marin.
3-2-4 Il n'y a rien de décisif à attendre d'une amélioration des prévisions météo.
3-3 Les conséquences de l'intermittence sur la production d'électricité
3-3-1 Un évident problème d'irrégularité de la production.
3-3-2 Mais aussi les conséquences de que, la production et la consommation d'électricité devant rester équilibrées à tout instant, les fluctuations permanentes et non maîtrisables de l'électricité issue de l'éolien et du solaire induisent des contraintes très fortes sur son utilisation ; il en résulte en définitive une augmentation de l'appel au thermique à combustible fossile
3.3-3 Analyse des contraintes qui en résultent sur le système de production et de transport de l'électricité, dans le cas de la France
3.3.3.1 Situation avant l'introduction de sources intermittentes (éolien et solaire)
3.3.3.2 Situation après l'introduction d'importantes puissances installées intermittentes (c'est-à-dire éolien et solaire), avec de plus obligation d'injection sur le réseau.

4-Quinze années de politique d'implantation massive de l'éolien en France, et toujours pas de signe visible d'une réduction de la consommation de combustible fossile…

4-1 Les chiffres de RTE
4-2 En fait, ce n'est pas du thermique que remplacent l'éolien et le solaire, mais essentiellement du nucléaire.
4-3 Ce qui a permis tout cela: la directive 2001/77/CE, depuis laquelle, par un véritable tour de passe-passe, des objectifs qui auraient du être des objectifs de réduction des émissions de CO2 ont été remplacés par des objectifs de proportion minimum d'électricité issue de sources renouvelables, ce qui n'est absolument pas la même chose.

5- Le bobard de la « compétitivité » de l'éolien

6- La fable de l'éolien et du solaire, en tant qu'alternative décarbonnée « propre » au nucléaire.

7- Plus rien ne s'oppose aujourd'hui, juridiquement et techniquement, à la poursuite de la fuite en avant actuelle:

7-1 Elle résulte directement des engagements pris par le gouvernement français .
7-2 Techniquement et juridiquement rien ne s'oppose à la tenue des objectifs que s'est fixés le gouvernement français.

ANNEXE 1: Les très fortes limites de l'éolien (ainsi d'ailleurs que du solaire) dans la réduction de l'utilisation de combustible fossile dans la production d'électricité. Le bilan désastreux de 30 ans d'éolien en Europe.

1-L'échec emblématique de l'Allemagne
2-Les raisons profonde de cet échec dans la réduction des émissions de CO2 : la très mauvaise qualité de l'électricité produite, du fait que le vent et l'ensoleillement ne sont pas maîtrisables, et qu'il faut à tout instant équilibrer production et consommation, limite la capacité d'absorption d'éolien et de solaire par un réseau, même lorsqu'il n'y a pas au total de surproduction.
3- Que signifie techniquement «équilibrer à tout moment la production et la consommation » ? Le problème crucial de la synchronisation des sources de production d'électricité.
4-De tout ce qui prècède résulte une limitation très forte de la capacité réelle des sources intermittentes à remplacer du thermique à combustible fossile (une dizaine de %?).
5-Soulignons que c'est uniquement l'interconnexion des réseaux nationaux qui a permis d'injecter dans certains pays de très fortes quantités d'éolien et le solaire, non seulement en permettant l'évacuation des surplus locaux d'électricité, mais en faisant si nécessaire participer à la synchronisation du réseau du pays émetteur la puissance pilotable des pays voisins.
6-En ce qui concerne l'électricité « exportée » d'origine intermittente, elle se répand dans les pays voisins, où elles évincent en priorité le nucléaire, lorsqu'il y en a; dans tous les cas elle perturbe le fonctionnement des réseaux concernés.
7- Au total, au niveau de l'Union Européenne considérée dans son ensemble, après 20 ans d'une politique de promotion forcenée de l'éolien et du solaire, un bilan carbone dont il n'est même pas certain qu'il soit positif.
8- Une règle absolue: quelle que soient les puissances installées intermittentes, garder une puissance installée pilotable supérieure à la puissance consommée maximum, avec de plus une certaine marge de sécurité.

ANNEXE 2-Efficacité de l'éolien et du solaire en ce qui concerne le remplacement du thermique à combustible fossile en France : analyse sur la période 2006-2018

ANNEXE 3- Les études prospectives de l'ADEME

ANNEXE 4- Références

1- Introduction: organisation du dossier

● Remarque préliminaire : l'objectif de réduction des émissions de CO2 peut être confondu avec celui de la réduction de l'utilisation du thermique à combustible fossile.

Ce dernier est en effet la seule source de production électrique émettrice nette de CO2, et le volume de ces émissions s'en déduit directement.

Bien que le calcul exact nécessite des données plus détaillées (cela dépend du rendement des centrales mises en oeuvre, et en particulier du combustible utilisé), il est tout à fait légitime de de considérer que réduire les émissions de CO2, dans le domaine de la production d'électricité, c'est réduire la production d'électricité à partir de thermique à combustible fossile. La présentation s'en trouve considérablement simplifiée.

Notons de plus, à l'intention de ceux qui ne seraient pas persuadés de l'origine anthropique du réchauffement climatique, ou qui estimeraient que de toutes façons la France ne peut à peu près rien sur l'évolution du stock mondial de CO2, que l'objectif de réduction de l'utilisation de combustibles fossiles, à lui seul, est absolument incontestable :

. pour des raisons d'indépendance nationale : la France en est dépourvue.

. parce que la ressource mondiale est effectivement limitée.

. parce qu'il en résulte une pollution chimique, qui de plus reste largement locale: elle nous concerne donc directement.

● Le constat de l'échec total, en France, de l'éolien (ainsi d'ailleurs que du solaire) vis-à-vis de l'objectif de réduction des émissions de CO2.

Cet échec est évident à la simple analyse, effectuée au §4, de l'évolution des bilans annuels de RTE depuis 2006 jusqu'en 2018 (avant 2006 l'éolien était tout à fait marginal, et le solaire inexistant)**.** Notons que le solaire, s'il est certes moins attentatoire à l'environnement que l'éolien, est, du fait de son intermittence, tout aussi inefficace (et en proportion au moins aussi coûteux). Techniquement, il ne peut être dissocié de l'éolien.

En effet aucune diminution visible de la production d'électricité issue du thermique à combustible fossile n'apparaît, alors même que le total de la production de l'éolien et du solaire représentait, en 2018, 70% du thermique à combustible fossile de 2006 (et l'éolien seul 52%). En fait c'est du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été évincé par la priorité d'injection de l'éolien et du solaire, et non du thermique à combustible fossile, contrairement à ce qu'affirme une étude grossièrement erronée de l'ADEME (Agence pour le développement et la maîtrise de l'énergie).

N'ont donc à ce jour strictement servi à rien l'installation d'environ 8000 d'éoliennes (qu'il faut déjà commencer à remplacer…), avec son cortège d'impacts sur les paysages, de problèmes sanitaires, d'atteinte à la biodiversité, de pollutions diverses et de scandales multiples [3], et la mise en place ou le renforcement de milliers de kilomètres de lignes électriques « pour faire face aux enjeux de la transition énergétique ». N'a donc toujours servi à rien un coût pour les consommateurs et la collectivité nationale de plus d'une dizaine de milliards d'euros, au profit pour l'essentiel d'acteurs étrangers.

Rappelons en outre que, jusqu'en 2035 au minimum, il n'y a aucune amélioration du service rendu à attendre de l'éolien et du solaire : le système de production électrique dont est doté la France depuis l'issue de la mise en place (1979-2002) du parc nucléaire actuel est, au vu des informations aujourd'hui disponibles,

[3] On pourra tout particulièrement lire l'excellent ouvrage de Fabien Bouglé « Eoliennes- la face noire de la transition écologique », éditions du Rocher) (ref.16)

en mesure d'assurer jusqu'en 2039 au moins[4] son approvisionnement en électricité, cette électricité étant de plus décarbonée à plus de 90%. Le bilan de l'éolien, déjà très fortement négatif à tous points de vue, ne peut donc que continuer à s'aggraver. Faut-il vraiment, comme cela est en route, tripler la puissance installée d'ici 2028 ?

.

Un tel constat justifie à lui seul un moratoire immédiat sur l'éolien.

● **Le constat d'échec n'est absolument pas particulier à la France**.

Il est même emblématique dans le cas de de l'Allemagne, qui s'est lancée dans la « transition écologique » 10 ans avant nous, et y avait, en 2014, consacré financièrement l'équivalent de la reconstruction du parc nucléaire français actuel à neuf (c'est-à-dire en remplaçant les réacteurs actuels par des EPR, qui intègrent une sécurité renforcée, et pourront, si nécessaire, être alimentés uniquement en combustible recyclé MOX, ce qui garantit la pérennité de leur approvisionnement en combustible).

En fait l'Allemagne a littéralement démontré que, en l'absence de stockage de masse, les sources intermittentes que sont l'éolien et les solaire sont incapables de réduire les émissions de CO2.

Le constat d'échec est évident : le premier graphique de l'annexe 1 du dossier montre que la production d'électricité issue du thermique à combustible fossile n'a pas diminué de 1996 à 2014, alors même que la consommation d'électricité, sur cette même période, était restée stable.

De plus, prenant acte du fait que, sans stockage de masse, il est impossible de compter sur l'éolien et le solaire pour satisfaire aux besoins en électricité, l'Allemagne n'a absolument pas diminué sa puissance installée pilotable : les centrales nucléaires fermées ont été remplacées par des centrales thermiques de puissance installée au moins équivalentes, ainsi que le montre le graphique du §8 de l'annexe 1.

● **Les raisons techniques de cet échec.**

Si l'échec est évident, même pour un non spécialiste (il suffit de regarder quelques graphiques montrant l'évolution de l'utilisation du thermique à combustible fossile depuis 15 ans en France, depuis 25 ans en Allemagne...), il est important, pour la suite, de comprendre les raisons techniques de cet échec, et c'est ce à quoi s'attache ce dossier.

La cause fondamentale de cet échec n'a rien de bien surprenant: c'est que le vent et l'ensoleillement sont très irréguliers et absolument pas maîtrisables, et que les problèmes qui en résultent, en ce qui concerne la production d'électricité, sont insolubles sans stockage de masse de cette dernière.

Cela étant, les mécanismes par lesquels de cette intermittence résulte l'échec constaté demandent parfois une certaine attention.

On trouvera donc :

▪ **Au §2, un rappel de la terminologie utilisée, une présentation de de la production d'électricité en France en 2018 (puissances installées, productions), ainsi que, concernant spécifiquement l'éolien, un panorama de son évolution dans le monde depuis 1997.**

En ce qui concerne la production d'électricité, il est essentiel, au plan technique, si on veut comprendre ce qui se passe, de structurer les présentations autour de la distinction entre les sources qui sont **pilotables,** à des degrés divers, et celles qui ne le sont absolument pas (autrement dit les sources intermittentes que sont l'éolien et le solaire), et non entre « sources renouvelables » et « sources non renouvelables ». Autrement dit de faire exactement le contraire de ce qui est systématiquement fait par le gouvernement et l'ADEME.

[4]Au vu des éléments d'information aujourd'hui disponibles, le parc nucléaire actuel, dont la mise en place s'est échelonnée de 1979 à 2002, peut être maintenu en place très largement après 2035. Ainsi, aux USA, tous les réacteurs en service (une centaine environ) ont obtenu l'autorisation de fonctionner au moins 60 ans. Cela mène à 2039 pour le début du démantèlement du parc actuel (Fessenheim y compris).

En ce qui concerne le panorama de l'éolien dans le monde, il est manifestement très inégalement réparti. Si l'on met à part le cas de la Chine, qui mériterait à lui seul une analyse particulière, depuis environ 25 ans qu'il est significativement apparu, il est resté confiné à la sphère d'influence occidentale, et singulièrement à l'Europe de l'Ouest : il n'a manifestement pas fait école.
Neuf ans après Fukushima, l'éolien est toujours totalement marginal au Japon, et il faut noter l'absence totale de la Russie.
On notera aussi la mésaventure survenue à l'éolien espagnol en 2013: son financement étant assuré par le budget de l'état, et non par des taxes non budgétées, il n'a pu survivre à la politique d'austérité du gouvernement Rajoy, avec comme résultat l'arrêt immédiat des nouvelles installations.

▪ Au § 3, complété par une partie de l'annexe 1, un regroupement de données techniques :

a) <u>En ce qui concerne le point clé du stockage de masse de l'électricité (§ 3-1)</u>

Le tour de la question est vite fait : il n'y a pas de dispositif réaliste de stockage aux échelles qui seraient nécessaires. Et cette situation n'est pas prête d'évoluer, du fait des lois mêmes de la physique.

- La seule méthode aujourd'hui disponible est l'utilisation de barrages hydrauliques réversibles, (ou STEP, comme « Stations de Transfert d'Energie par Pompage »). Il s'agit d'une technologie parfaitement maîtrisée et d'un rendement acceptable. Mais on bute sur le fait qu'il faudrait en construire de nouvelles à des échelles pharaoniques.
- La seule autre méthode envisageable[5] fait appel à des processus connus depuis plus d'un siècle, mais qui n'ont pour le moment pas encore eu un début d'application industrielle : c'est la production par électrolyse de gaz de synthèse, son stockage, puis son utilisation pour produire de l'électricité (par une centrale thermique par exemple).

Indépendamment du fait que tout resterait à mettre en place, on butera toujours sur le fait le rendement global est désastreux : moins de 30%. Ce qui signifie entre autres que, lorsque l'on passe par le stockage, il faut tripler le nombre d'éoliennes nécessaires.

b) <u>En ce qui concerne les caractéristiques de la production d'électricité d'origine éolienne (§3-2):</u>

Le point essentiel est qu'elle peut être très fortement fluctuante aussi bien sur le long terme que sur le court terme. Si la puissance délivrée en moyenne par une éolienne n'est qu'un peu plus de 20% de sa puissance installée pour une éolienne terrestre, ou environ 30% pour une éolienne marine, elle peut varier rapidement de 0 à presque 100%.

Il est régulièrement expliqué qu'il y a un moyen très simple de régler les problèmes dus à l'intermittence de l'éolien : comme « le vent souffle toujours quelque part », c'est de multiplier les éoliennes (et les lignes de transport) de façon à aller le chercher partout où il se trouve : c'est le fameux « effet de foisonnement ».
En fait cet effet n'existe tout simplement pas, même à l'échelle de l'Europe. Il y a évidemment alors un certain lissage mais il demeure limité et aléatoire, et aucun des défauts majeurs de l'éolien, à savoir l'ampleur et la rapidité de la cinétique des variations de la production ne disparaît. Il y a toujours de longues périodes sans vent, avec de plus une caractéristique lourde de l'éolien, qui est particulièrement fâcheuse: l'absence de vent pendant les périodes de grand froid, qui sont aussi les périodes de plus forte consommation.

c) <u>Lorsqu'elles produisent, les sources intermittentes que sont l'éolien et le solaire produisent une électricité de très mauvaise qualité, et ce facteur s'ajoute à l'irrégularité de la production pour limiter leur possibilités d'emploi.</u>

- De l'intermittence résulte un problème qui n'est absolument pas résolu, mais qui est si évident qu'il ne peut être ignoré: que faire lorsqu'il n'y a pas assez d'électricité, et que faire lorsqu'il y en a trop? Mais il y en a un autre, tout aussi peu résolu, et tout aussi insoluble en l'absence de stockage, qui est très bien connu

[5] Au demeurant l'ADEME, dans ses projections jusqu'à l'horizon 2060, n'en envisage effectivement pas d'autre.

des spécialistes, mais qui est, lui, totalement occulté : c'est que la production électrique qui en est issue, qui fluctue sans cesse de façon non maîtrisable, est de très mauvaise qualité.
Comme il y a obligation absolue d'équilibrer à tout instant la production et la consommation d'électricité (sinon c'est la fin du fonctionnement normal du réseau et, si cela se passe mal, le black-out), les sources pilotables doivent cette fois ci prendre en compte, en plus des variations de la consommation, les variations de la production des sources intermittentes, et cette contrainte restreint encore plus l'employabilité de l'éolien et du solaire.

- Les conséquences générale de l'intermittence sont développées au §3-3, le §3-3-3 concernant plus particulièrement la France.
Le fait que l'électricité soit distribuée en courant alternatif rend en outre particulièrement critique la contrainte d'équilibrer en permanence production et consommation : ce point particulier est analysé en annexe 1 (§3).

- L'analyse du cas de l'Allemagne, qui est plus complexe, est effectuée en annexe 1 (§1, 2 et 8).
Certes, presque 25% de la production électrique allemande provient aujourd'hui de l'éolien et du solaire. Mais, comme on l'a vu plus haut, comme en France, le thermique à combustible fossile n'a pas diminué : comme en France, c'est du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été évincé, pas du thermique. Et si l'Allemagne parvient à injecter sur son réseau presque 25% d'intermittent, ce n'est que parce que, grâce à l'interconnexion des réseaux nationaux européens, elle peut évacuer vers les pays voisins les surplus de production de de plus en plus importants qui en résultent, et que parce qu'elle peut utiliser, pour réguler son réseau, les puissances installées pilotables des pays voisins.
Insistons bien sur le terme « évacuer » qui a été utilisé, car en l'occurrence il ne s'agit nullement d'exportations résultant d'un contrat librement consenti entre l'importateur et exportateur. Quand l'Allemagne injecte en en un point donné de l'éolien ou du solaire, conformément à la règle européenne transposée dans son droit national imposant qu'on leur donne la priorité, les lois de Kirchoff étant ce qu'elles sont, il se répand sur l'ensemble des réseaux nationaux (qu'il perturbe évidemment plus ou moins), en fonction de la capacité des lignes et de leur encombrement, jusqu'à ce qu'il ait été consommé, ou dissipé par les pertes en ligne. Lorsqu'il arrive en France, en particulier, il se rajoute à l'éolien et au solaire locaux pour évincer un peu plus le nucléaire français, dont il contribue donc à diminuer la rentabilité sans diminuer pour autant les émissions de CO2 de la France.
Le cas du petit Danemark, qui injecte sur son réseau plus de 50% d'éolien, est encore plus caricatural.

- Si, comme ce sont explicitement les orientations de l'UE depuis 20 ans, tous les pays européens faisaient comme l'Allemagne et le Danemark, c'est soit avec la Russie, soit avec une autre planète que nous devrions nous interconnecter pour que puissent être mis à notre disposition les compléments de puissances installées pilotables nécessaires au maintien de la stabilité du réseau européen, et que puissent être évacués les trop pleins européens d'électricité intermittente.
Si l'on considère maintenant non pas simplement l'Allemagne et la France, mais l'ensemble des réseaux interconnectés européens, il n'y a pas grand risque à parier que, 25 ans après le début de la politique actuelle, il n'y a toujours pas eu de réduction significative de l'appel au combustible fossile.

- L'annexe 1 examine aussi un problème fondamental : quelle est, sans stockage, la capacité de l'éolien et du solaire à remplacer le thermique à combustible fossile ? La situation qui maximise cette capacité est à l'évidence celle où ce dernier est la seule autre source d'électricité.
Dans un système complexe isolé où il n'y a que du thermique et de l'éolien et du solaire il ne semble guère que, en moyenne, on puisse faire mieux que 10%. Cela fixe une limite à ce que l'on peut espérer, sans stockage de masse, de ces sources de production. Mais comme on ne sait pas stocker l'électricité aux échelles concernées, cette limite, qui est décevante, est aussi leur limite tout court.

● Le bobard de la « compétitivité » de l'éolien

Le §5 explique comment le développement massif de l'éolien et du solaire dans certains pays résulte mécaniquement des privilèges exorbitants qui leur ont été accordés, et non d'une quelconque compétitivité, qu'elle soit technique ou économique.
Ces privilèges résultent de ce que, depuis la directive 2001/77/CE et sa transposition dans le droit français, maximiser la production d'électricité issue de sources renouvelables, ce qui revient à maximiser la production d'éolien et de solaire, seules sources renouvelables ayant un fort potentiel de croissance, est de fait assimilé à maximiser la réduction des émissions de CO2. Les objectifs à atteindre sont en effet fixés en proportion minimum d'électricité d'origine renouvelable, et non en objectifs de diminution des émissions de CO2.

Autrement dit, plus on injecte sur le réseau d'éolien et de solaire, plus on contribue à sauver la planète, et c'est cela qui justifie leurs privilèges, sans lesquels ils n'existeraient même pas.

Après maintenant plus de 15 ans d'éolien puis de solaire en France, et plus de 25 ans en Europe, il serait tout de même essentiel de poser la question de leur efficacité réelle vis-à-vis de l'objectif qui les justifie.

● La fable de l'éolien et du solaire, en tant qu'alternative décarbonée « propre » au nucléaire .

▪ Comme indiqué au §6, au nom de la nécessité de « diversifier » les sources d'approvisionnement, le gouvernement français a engagé la France dans une politique de remplacement plus ou moins complet du nucléaire par des sources renouvelables (autrement dit par de l'éolien et du solaire): un tiers au moins de la production nucléaire actuelle devra avoir été supprimé en 2035 au plus tard. Comme évidemment il ne saurait être question d'augmenter les émissions de CO2, ce n'est que par du « renouvelable », autrement dit par de l'éolien et du solaire qu'ils peuvent être remplacés.
C'est donc maintenant par la nécessité d'être à ce rendez-vous de 2035 (et même, au-delà, d'être en mesure de remplacer ce qui restera de réacteurs nucléaires par du « renouvelable ») qu'est dorénavant justifiée l'accélération massive de l'implantation d'éolien et de solaire.
Comme le montre le §7, plus rien ne s'oppose aujourd'hui, à la fois juridiquement et techniquement (car tout a été prévu aussi de ce point de vue[6]), à cette accélération: seul un changement de politique pourrait s'y opposer.

▪ Tout ceci repose évidemment sur l'hypothèse que l'on peut remplacer des centrales nucléaire pilotables par des sources intermittentes certes tout aussi décarbonées, mais non pilotables. C'est cette hypothèse qui est examinée au §6.
Sans surprise, sans stockage de masse, c'est impossible. On a d'ailleurs sous les yeux l'exemple de l'Allemagne : si, comme elle, on n'avait plus que 20% de nucléaire, on aurait environ 2/3 de thermique.
Si l'on introduit du stockage de masse, on tombe immédiatement sur des chiffres délirants , qu'il s'agisse de ce qu'il faudrait construire comme STEP nouvelles (en prenant l'hypothèse d'un stockage par STEP), ou de ce qu'il faudrait mettre comme éoliennes supplémentaires ou de panneaux solaires supplémentaires dans le cas du stockage par méthanation, compte tenu du rendement catastrophique de l'opération.

● On trouvera en outre en annexe 3 une analyse de l'étude prospective de l'ADEME « Trajectoire d'évolution du mix électrique 2020-2060 » (ref.19), qui a été établie en 2018 dans le cadre de la préparation du PPE 2019-2028.

[6] Tant que l'on n'a pas diminué la puissance installée pilotable totale, il n'y a aucun problème posé par l'intermittent qui soit insoluble, une solution disponible en permanence étant de cesser de l'injecter sur le réseau, puisque l'on n'a pas besoin de lui. La fermeture de Fessenheim devrait être à peu près compensée par la mise en service de Flamanville. L'appel aux centrales thermiques des pays voisins, et tout particulièrement de l'Allemagne, devrait pouvoir compenser la fermeture de quelques réacteurs supplémentaires dans cette décennie.

2- Les diverses sources de production d'électricité. Quelques chiffres.

2-1 Terminologie

Puissance électrique **:**
Il s'agit de l'énergie électrique délivrée en 1 seconde.
L'unité est le Watt (W), avec comme multiples le kilowatt (KW), qui vaut 1000W, le mégawatt (MW), qui vaut 1000 KW, le gigawatt (GW), qui vaut 1000 MW, et le térawatt (TW), qui vaut 1000 GW.

Energie électrique :
Les unités généralement utilisées sont le Watt-heure (Wh), qui correspond à une puissance de 1W délivrée pendant 1 heure, et ses multiples : le KWh, le MWh, le GWh, et le TWh.

Puissance installée d'une centrale électrique: c'est la puissance maximum qu'elle peut délivrer.

« Facteur de forme » d'une centrale électrique : c'est le rapport « puissance moyenne délivrée/puissance installée »
L'énergie électrique délivrée pendant 1 an par une centrale de puissance installée P_i watts et de facteur de forme F est donc :
$E= 24x365x P_i x F= 8760 x P_i x F$ watt-heure.

2-2- Structure de la production d'électricité en France ; la distinction fondamentale, au plan technique, est celle entre sources « pilotables » et sources « intermittentes », et non entre sources « renouvelables » et sources « non renouvelables ».

Production d'électricité 2018 en France: puissances installées et production (source: RTE)

		Puissance installée 2018 (Gw)			Production 2018			
		Puissance installée 31/12/2017	Puissance installée 31/12/2018	Puissance installée moyenne	Production (Twh)	% total	puissance moyenne produite (Gw)	facteur de forme
nucléaire		63,13	63,13	63,13	393	71,7%	44,86	0,71
thermique à combustible fossile		19,03	18,588	18,81	39	7,1%	4,45	0,24
renouvelables	hydraulique	25,52	25,51	25,52	68	12,4%	7,76	0,30
	éolien	13,59	15,108	14,35	28	5,1%	3,20	0,22
	solaire	7,65	8,527	8,09	10	1,8%	1,14	0,14
	autres renouvelables (bioénergies)	1,94	2,026	1,99	10	1,8%	1,14	0,58
total		**130,86**	**132,889**	**131,87**	**548**	**100,0%**	**62,56**	**0,47**
sous-total renouvelables		48,71	51,171	49,94	116	21,2%	13,24	0,27
distinction "pilotables" et "intermittent"	pilotable	109,62	109,254	109,44	510	93,1%	58,22	0,53
	intermittent (éolien+solaire)	21,24	23,635	22,44	38	6,9%	4,34	0,19

Fig.1

On trouvera en outre, au §4, un tableau rappelant la situation au début effectif de l'éolien, que l'on peut en France situer en 2006.

Commentaires:

a) La distinction entre les énergies renouvelables et les autres, qui structure les présentations officielles, est uniquement une distinction politique. Or, techniquement, ce qui est structurant , c'est la distinction entre d'une part les sources qui, à des degrés divers, sont pilotables, et d'autre part celles qui ne le sont pas. Autrement dit c'est la distinction entre l'éolien et le solaire (le vent et

l'ensoleillement ne sont absolument pas maîtrisables), et tout le reste. D'où l'ajout à la présentation RTE de la séparation entre sources « pilotables » et sources dites « intermittentes[7] ».

b) le « thermique à combustible fossile » n'est autre que le thermique classique, qui utilise du charbon, du fuel ou du gaz. Il est la seule source d'émissions nettes de CO2 du système de production électrique, et .le volume de ces émissions s'en déduit directement (le calcul exact nécessitant des données plus détaillées : cela dépend du rendement des centrales utilisées, et en particulier du combustible utilisé). **On peut donc considérer, en première approximation, que la quantité d'électricité issue du « thermique à combustible fossile » est un bon indicateur des émissions de CO2 du système de production électrique français**.
Le thermique à combustible fossile est la source la plus pilotable, par l'amplitude et la rapidité des variations qu'il permet.

c) Il n'y a pas que du thermique à combustible fossile. Il y a aussi l'électricité issue de l'incinération des ordures ménagères et de la cogénération, qui se retrouvent dans la rubrique «autres renouvelables», dont ils constituent l'essentiel. La production d'électricité qui en résulte n'est pas du tout négligeable, et il s'agit de plus d'une électricité aisément utilisable car, au contraire de l'éolien ou du solaire, elle est dans une certaine mesure pilotable. Toutefois, comme il s'agit d'un sous-produit d'activités dont la finalité n'est pas la production d'électricité, cette pilotabilité est loin d'être totale, au contraire de celle du thermique classique, qu'elle ne peut donc supplanter.

d) En ce qui concerne l'éolien et le solaire, le facteur de forme correspond **au maximum de ce qu'ils peuvent produire** du fait du vent et de l'ensoleillement. En effet, en ce qui les concerne, il y a **obligation d'injection sur le réseau de toute l'électricité produite, lorsque le vent souffle, ou lorsque le ciel est dégagé, et cela quelle que soit par ailleurs à ce moment son utilité réelle** (il faut bien avoir à l'esprit que l'on ne sait pas stocker l'électricité aux échelles concernées).

Par ailleurs cette obligation d'injection est accompagnée d'une obligation d'achat à un prix calculé de façon à garantir quoi qu'il arrive leur rentabilité.

Les facteurs de forme de l'éolien et du thermique à combustible fossile sont certes très voisins, mais dans le cas de ce dernier cela résulte ce que l'on n'y fait appel que lorsqu'il est réellement utile, c'est-à-dire lorsque les autres sources de production ne peuvent satisfaire la demande. Si cela s'avérait nécessaire, son facteur de forme pourrait être de 100%, aux indisponibilités près pour maintenance des centrales concernées.

e) Depuis la fin de la mise en place de son parc nucléaire, la France est, et de très loin, le grand pays dont la **production d'électricité est la plus décarbonée, avec un peu plus de 90% d'électricité décarbonée (chiffre qui peut varier de quelques % selon les années : voir l'annexe 2).**
Dès le début de l'éolien, il était évident qu'il n'y avait pas beaucoup d'émissions de CO2 à supprimer, et que son utilité ne pouvait être que limitée.

2-3 L'éolien dans le monde

[7] On utilisera ici l'épithète « intermittent » car c'est celui qui est le plus souvent utilisé pour qualifier les énergies solaire et éolienne. En fait ce n'est pas le plus approprié, car il ne rend pas compte du caractère absolument non maîtrisable des énergies éoliennes et solaires, qui sont souvent qualifiées, dans la littérature spécialisée, d'énergies « fatales ».

Puissance éolienne installée dans le monde - évolution de 1997 à 2018 (source: wikipedia)								
Pays	1997	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018 (previsions)
Chine	146	352	1 266	41 800	145 362	168 732	188 392	211 392
États-Unis	1 673	2 564	9 149	40 200	73 991	82 060	89 077	96 665
Allemagne	2 081	6 095	18 500	27 191	44 941	50 019	55 719	58 908
Inde	940	1 267	4 430	13 065	25 088	28 700	32 938	35 129
Espagne	427	2 535	10 028	20 623	23 025	23 075	23 100	23 494
Royaume-Uni	319	409	1 353	5 204	13 809	14 602	19 835	21 243
France	10	68	757	5 970	10 505	12 065	13 759	15 307
Brésil	3	22	29	931	8 726	10 741	12 769	14 707
Canada	25	137	683	4 008	11 219	11 898	12 240	12 816
Italie	103	427	1 718	5 797	8 975	9 227	9 766	10 300
Turquie		19	201	1 329	4 694	6 091	6 872	7 370
Suède	127	241	509	2 163	6 029	6 494	6 611	7 407
Danemark	1 066	2 417	3 128	3 749	5 064	5 230	5 486	6 131
Pologne	2	5	73	1 180	5 100	6 355	5 848	5 864
Portugal	38	83	1 022	3 706	5 050	5 316	5 313	5 380
Australie	4	30	579	2 020	4 187	4 312	4 813	5 362
Mexique					3 073	3 527	4 006	4 935
Pays-Bas	319	440	1 224	2 269	3 443	4 328	4 202	4 292
Japon	18	142	1 040	2 304	3 038	3 230	3 399	3 661
Irlande	53	119	495	1 428	2 446	2 701	3 318	3 564
Belgique					2 229	2 378	2 806	3 191
Autriche					2 404	2 632	2 887	3 045
Roumanie		0	1	462	2 976	3 024	3 030	3 030
Afrique du Sud					1 053	1 473	2 085	2 085
Total mondial	**7 482**	**18 040**	**59 135**	**194 680**	**432 680**	**487 657**	**540 432**	**591 549**

Fig.2

Commentaires :

a) L'Allemagne et le Danemark, dès le début des années 1990, puis un peu plus tard l'Espagne, ont été les pays pilotes de l'éolien. Leurs industriels se sont retrouvés être, au moins jusqu'à une époque récente, les leaders mondiaux dans ce domaine, et on conçoit que ces pays défendent leurs intérêts au sein de l'UE.

b) On notera l'arrêt total de l'extension de l'éolien en Espagne depuis plusieurs années (depuis 2013, très exactement).
Dans le cas de la France, comme dans celui de la majorité des pays, le financement de l'éolien est pour l'essentiel assuré par des taxes prélevées sur le consommateur. Ce mode de financement, qui est neutre vis-à-vis de la dette publique, échappe à l'élaboration des budgets annuels. Cela a donc permis à l'éolien, depuis le début, d'échapper toutes les politiques d'austérité passées, présentes, et à venir.
Ce n'était pas le cas de l'Espagne, où la subvention, qui était pour l'essentiel assurée par le budget de l'état, n'a pas survécu à la politique d'austérité qu'a du mettre en œuvre l'Espagne suite à la crise de 2008. L'arrêt des investissements dans l'éolien a été immédiat.

3-Données techniques.

3-1 Sauf à disposer d'ouvrages pharaoniques, on ne sait pas stocker l'électricité aux échelles concernées, et cette situation n'est pas prête d'évoluer, du fait des lois même de la physique.

3-1-1 Il n'existe pas en effet aujourd'hui d'autres moyens de stockage, aux échelles concernées, que les « STEP » (« Stations de Transfert d'Energie par Pompage »).

L'électricité dont on n'a pas l'usage est utilisée pour remonter de l'eau d'un lac aval à un lac amont, d'où elle est ensuite turbinée en tant que de besoin. Le rendement de l'opération est relativement bon (75%)[8].

L'inconvénient majeur de cette technique, qui date du 19ème siècle et est parfaitement maîtrisée, est que, les lois de la mécanique étant ce qu'elles sont, elle exige rapidement des ouvrages tout à fait considérables. Par

[8] Auquel il faut ajouter les pertes dans les réseaux de transport (typiquement 4 % lorsque seul le réseau très haute tension est utiisé: 2% pour le trajet aller et 2% pour le trajet retour), ce qui amène le rendement global à 70% environ.

exemple, pour stocker 1 kwh (ce qui ne permet jamais que le fonctionnement d'un sèche-linge pendant ¼ d'heure, ou d'un frigidaire pendant une journée…), il faut remonter de 100m près de 4 tonnes d'eau.

La puissance installée en STEP est actuellement en France d'environ 5 GW, et a permis en 2018 de restituer environ 5 TWh, ce qui correspond à environ 1% de la production totale. Il existe certes des possibilités d'augmentation de ces capacités, mais elles demeurent limitées, et sont de toute façon très contraignantes pour l'environnement. Pour pouvoir pleinement utiliser un lac de barrage existant pour stocker de l'énergie, il faut en effet pouvoir le remplir et le vider suffisamment rapidement, ce qui impose qu'il se diverse directement dans un barrage aval, et le rend inutilisable pour d'autres activités. Il ne reste guère que la possibilité de construire de nouveaux lacs dédiés à cette utilisation et se déversant dans des lacs déjà existants, ou dans la mer.
A noter que les STEP peuvent toutefois avoir une importance considérable pour des pays comme la Suisse, la Suède et la Norvège, qui ont un relief qui s'y prête, et qui sont en outre des pays de petite taille, et dont les besoins en électricité demeurent réduits.
A noter aussi que, à l'autre extrémité des échelles, une utilisation même très partielle en STEP de barrages gigantesques (exemple : barrage des 3 Gorges en Chine) peut permettre de délivrer des quantités d'électricité tout à fait significatives en valeur absolue.

3-1-2 Le seul autre moyen de stockage de masse évoqué est la production par électrolyse de gaz de synthèse (hydrogène, puis éventuellement méthane), puis son utilisation pour produire de l'électricité. Mais le rendement d'une telle opération est désastreux (au mieux 30%)

Sur le sujet du stockage on pourra aussi lire l'étude de J.M.Jancovici en ref.2 :« Pourrait-on alimenter la France en électricité uniquement avec de l'éolien ? »

▪ Le stockage par batteries ne permet absolument pas un stockage de masse. Il faut environ 30 kg de batteries pour stocker 1kwh…

Une idée parfois évoquée est l'utilisation des batteries des voitures électriques. Elles ne « coûtent rien », puisqu'elles ont été achetées pour la mobilité de la voiture. Et, la plupart du temps, les voitures ne roulent pas… Et, si on a 20 millions de voitures électriques avec 100 kg de batteries par véhicule, cela représente tout de même une capacité de stockage non négligeable. Soit de quoi stocker environ 0,1 Twh, soit environ un quinzième de la consommation journalière, ce qui pourrait contribuer au lissage journalier. Sauf que…
Il faudrait que, lorsqu'elles sont à l'arrêt, les voitures puissent être raccordées au réseau. Cela a un coût (et introduit des contraintes d'utilisation, ce qui a aussi un coût…). Et puis, il faut tout de même que les batteries restent en permanence suffisamment chargées, car le conducteur est susceptible d'avoir besoin de son véhicule à tout instant : le potentiel réel de stockage s'en retrouvera très fortement diminué. Il se trouve de plus que, très fâcheusement, ce n'est pas aux heures creuses qu'on a le plus besoin de la voiture. Et puis, cela contribue à accélérer le vieillissement de la batterie, ce qui a aussi un coût. Et un coût à mettre à la charge de qui ? Et puis, il y a le rendement global de l'opération : environ 70% moins les pertes en ligne de l'éolienne à la voiture, et de la voiture au consommateur, qui peuvent être importantes (on doit passer par le réseau basse tension…). Etc…Il ne semble pas au demeurant qu'il y ait eu d'étude sérieuse de ce tout ce qu'impliquerait tout cela à l'échelle de la France.
Et puis, on n'y est pas encore, aux 20 millions de voitures électriques, ne serait-ce que parce que le bilan écologique de l'utilisation de batteries chimiques est de plus en plus contesté.

▪ Il en est de même des moyens de stockage de l'énergie mécanique par d'autres moyens que les STEP : stockage de l'énergie mécanique par volant d'inertie (il faut un volant d'inertie de plusieurs tonnes pour stocker 1 kwh…), ou par compression d'un gaz.

▪ En dehors des STEP, il ne reste en définitive comme seul autre moyen de stockage de masse la production par électrolyse de gaz de synthèse (hydrogène, lequel dans une étape supplémentaire peut être utilisé pour fabriquer du méthane, beaucoup plus aisément utilisable). Ce gaz peut ensuite être directement utilisé en tant que tel, mais il peut aussi, stocké aux échelles nécessaires, puis injecté dans une centrale thermique, produire de l'électricité.

Si le principe de ce mode de stockage « power to gaz to power » est connu depuis longtemps, il n'a jamais eu jusqu'à présent d'application pratique à des échelles significatives, et pire encore, à l'exception de la dernière partie du rapport Floccard-Perves, cité en réf.1, qui traite d'un stockage éventuel par l'hydrogène, il ne semble même pas que l'on ait cherché à élaborer des scénarios réalistes d'un développement massif de ces techniques[9].

Il en ressort toutefois des informations disponibles une évidence: le rendement de cette double opération est désastreux: au mieux 35% pour l'hydrogène, dont il faut en outre déduire les pertes en ligne[10] (environ 4%), ce qui mène aux alentours de 30%. Pour le méthane, c'est pire du fait de l'étape supplémentaire nécessaire pour passer de l'hydrogène au méthane. On tombe en dessous de 30%, ce qui mène à 25% du fait des pertes en ligne. Cela signifie que lorsque l'on passe par le stockage, il faut multiplier par plus de 3 le nombre d'éoliennes nécessaires : leur facteur de forme effectif tombe alors à moins de 7%.

A supposer que ceci n'ait pas été jugé rédhibitoire, comment dimensionner les installations d'électrolyse, du fait de l'intermittence du vent ? Faut-il se fixer comme objectif de récupérer toute l'électricité éolienne susceptible d'être produite ? Mais alors elles devront être surdimensionnées, car quand le vent souffle une éolienne peut effectivement produire beaucoup d'électricité. Et rien ne dit que le rendement de l'électrolyseur serait le même sur toute la plage de fonctionnement. Ou se limiter à une plage de fonctionnement plus réduite ? Mais cela diminue encore un peu plus le facteur de forme effectif des éoliennes. Etc…

3-2 Durée, amplitude et rapidité des fluctuations de l'éolien,

3-2-1 Au niveau local

▪ La vitesse du vent varie sans cesse, et de plus les conséquences sur la puissance électrique produite sont amplifiées par le fait que cette dernière varie comme **le cube** de la vitesse du vent. On peut ainsi rencontrer des situations où, en quelques dizaines de minutes, on passe d'une puissance délivrée nulle à la puissance maximum.

Par ailleurs, dès que le vent souffle en tempête (>90 km/h), une éolienne doit impérativement être arrêtée : dans certaines circonstances, certes rares, mais pas du tout exceptionnelles, **on peut donc passer très brutalement de la puissance maximum à l'arrêt complet.**

Le graphique suivant illustre bien le caractère particulièrement fantasque de cette énergie.

[9] En aucune façon l'étude en ref.12 « Etude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire » ne peut être considérée comme une présentation de scénarios réalistes, c'est-à-dire décrivant avec le détail nécessaire le cheminement de l'éolienne à l'électrolyseur, comment on transporte et on stocke l'hydrogène, comment éventuellement on l'utilise pour constituer du méthane de synthèse, comment on utilise le gaz de synthèse pour produire de l'électricité, avec à chaque fois le dimensionnement des moyens nécessaires, les inévitables pertes, etc…Cette étude est simplement une compilation, certes intéressante, de ce que l'on peut trouver dans la littérature scientifique, complétée par quelques estimations économiques, d'où il ressort tout de même que cette filière nécessitera de très fortes subventions.

[10] On se place dans l'optique d'une centralisation de la production de gaz de synthèse. Evidemment on éviterait les pertes en ligne si les éoliennes étaient directement couplées à des électrolyseurs. Mais on a affaire à des milliers, et même à des dizaines de milliers d'éoliennes éparpillées un peu partout. Où trouver l'eau nécessaire ? Que faire du gaz ainsi produit ? Il semble au demeurant qu'un tel scénario n'ait jamais été envisagé par l'ADEME.

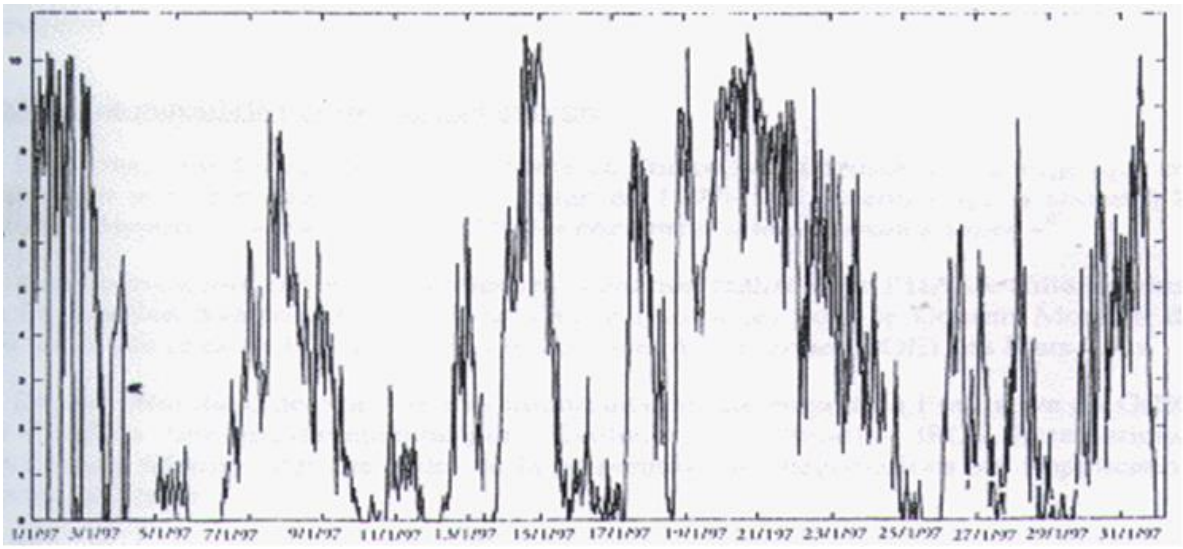


Fig.3

Puissance moyenne délivrée pendant 1 mois par un parc éolien de puissance installée 10 MW en Grande Bretagne (janvier 1997)

(source : Vent de la colère http://www.ventdecolere.org/archives/intermittence.pdf)

Il en résulte que, en permanence, **d'autres sources de production dont la puissance installée doit être au moins égale à celle du parc éolien à réguler doivent à tout instant être prêtes à prendre le relai de l'éolien si le vent cesse de souffler (ou s'il se met à souffler en tempête…), puis à s'effacer pour lui céder la place s'il souffle à nouveau.**

3-2-2 A des échelles plus importantes : le bobard de « l'effet de foisonnement ».

Ce fameux « effet de foisonnement » est à peu près systématiquement invoqué dans la promotion de l'éolien pour écarter d'un revers de la main les problèmes résultants de l'intermittence : le vent soufflant toujours quelque part, il suffit tout simplement de multiplier les éoliennes et la capacité et le maillage des réseaux pour pouvoir en profiter.

▪ Il y a évidemment alors un certain lissage, mais il demeure limité et aléatoire, et aucun des défauts majeurs de l'éolien, à savoir l'ampleur et la rapidité de la cinétique des variations de la production ne disparaît.

Le problème est même aggravé, à l'échelle d'un pays ou d'un continent, par le fait que ce ne sont plus des parcs éoliens isolés, dont la puissance installée reste limitée, qui sont impliqués, mais **l'ensemble** de la puissance éolienne installée qui, elle, est tout à fait considérable. Ainsi, le 9 décembre 2018, la puissance délivrée sur l'ensemble de la France a atteint 80,3% de la puissance installée totale, soit 12,4 Gw. C'est donc l'équivalent de la production de plus d'une douzaine de réacteurs nucléaires qui peut apparaître ou disparaître à l'échelle de la demi-journée. On conçoit l'ampleur des problèmes que cela pose sur l'ensemble du système de production et de distribution d'électricité.

▪ Evaluer ce que l'on peut réellement attendre de « l'effet de foisonnement » est au demeurant d'une grande simplicité: les productions éoliennes réelles des différentes parties de la France et de l'Europe étant disponibles, il suffit de les utiliser pour faire les simulations appropriées.

C'est ce qu'a fait le rapport Flocard-Perves (2012, ref.1)

Ses conclusions sont sans appel :

- En ce qui concerne la France, il a considéré non pas simplement un parc éolien sur 1 mois mais, sur 8 mois (septembre 2010-mars 2011), l'ensemble de la production réelle de la France[11], qui dispose pourtant de 3 régimes de vent.

On retrouve bien un certain lissage, mais :

. Il y a toujours de longues périodes sans vent, avec de plus une caractéristique lourde de l'éolien, et qui est particulièrement fâcheuse : **l'absence de vent pendant les périodes de grand froid, qui sont aussi les périodes de plus forte consommation.**.

. Il y a toujours la possibilité de très importantes fluctuations à cinétique rapide, lesquelles sont extrêmement contraignantes en surdimensionnement des réseaux électriques, des centrales thermiques qui ont à réguler de l'éolien, et en utilisation effective de ces dernières, c'est-à-dire en consommation de combustibles fossiles.

Cela apparaît très nettement dans le graphique suivant:

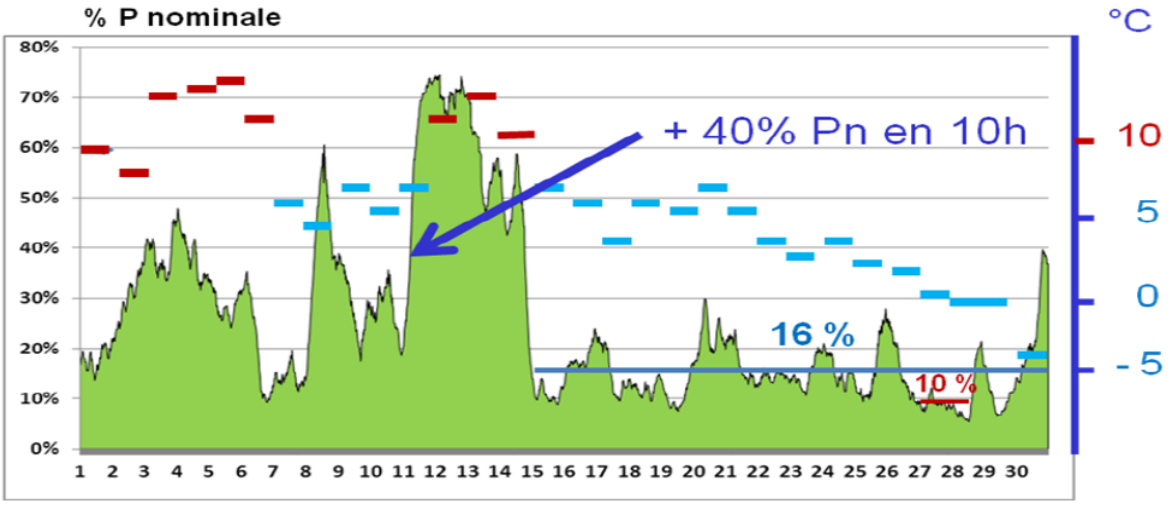


Fig. 3 - Evolution de la puissance éolienne en France en novembre 2010 (courbe et échelle de gauche) et de la température moyenne (échelle de droite, en traits rouges journées chaudes et en traits bleu les journée froides)

Fig.4

Rapportés respectivement à la puissance installée fin 2012 et aux objectifs 2020, 40% de la puissance installée (Pn) représentent 2,96 GW et 10,4 GW, soit les productions d'environ 3 et 10 réacteurs nucléaires. Notons que si l'épisode marqué d'une flèche est celui qui a la plus grande amplitude, il n'est pas le seul à avoir une cinétique d'évolution rapide (d'autres cinétiques sont même plus rapides).

- En ce qui concerne l'Europe, le rapport Flocard-Perves montre (cf graphique ci-après, établi à partir des productions enregistrées de septembre 2010 à mars 2011, mais en prenant en compte les puissances installées envisagées en 2030), que l'on ne modifie pas non plus sensiblement la situation en considérant l'ensemble de la production des principaux pays de l'Europe de l'Ouest.

Rappelons en outre, pour se faire une idée des implications sur les réseaux électriques, que la puissance moyenne produite par la France en 2018 a été de 62,8 Gw (cf §1-2). Pour bénéficier des situations (qui existent tout de même !) où le vent souffle en Espagne, et pas en Allemagne et au Danemark (ou inversement), il faudrait être en mesure de pouvoir faire pouvoir faire traverser la France par des puissances électriques qui, au vu de ce qui est envisagé en 2030, pourraient être de du même ordre de grandeur que sa production propre.

[11] Notons que cela revient donc à considérer que le réseau de transport a une capacité infinie et n'induit aucune perte en ligne, ce qui est très loin d'être le cas: le rapport surestime donc le lissage résultant de « l'effet de foisonnement » .

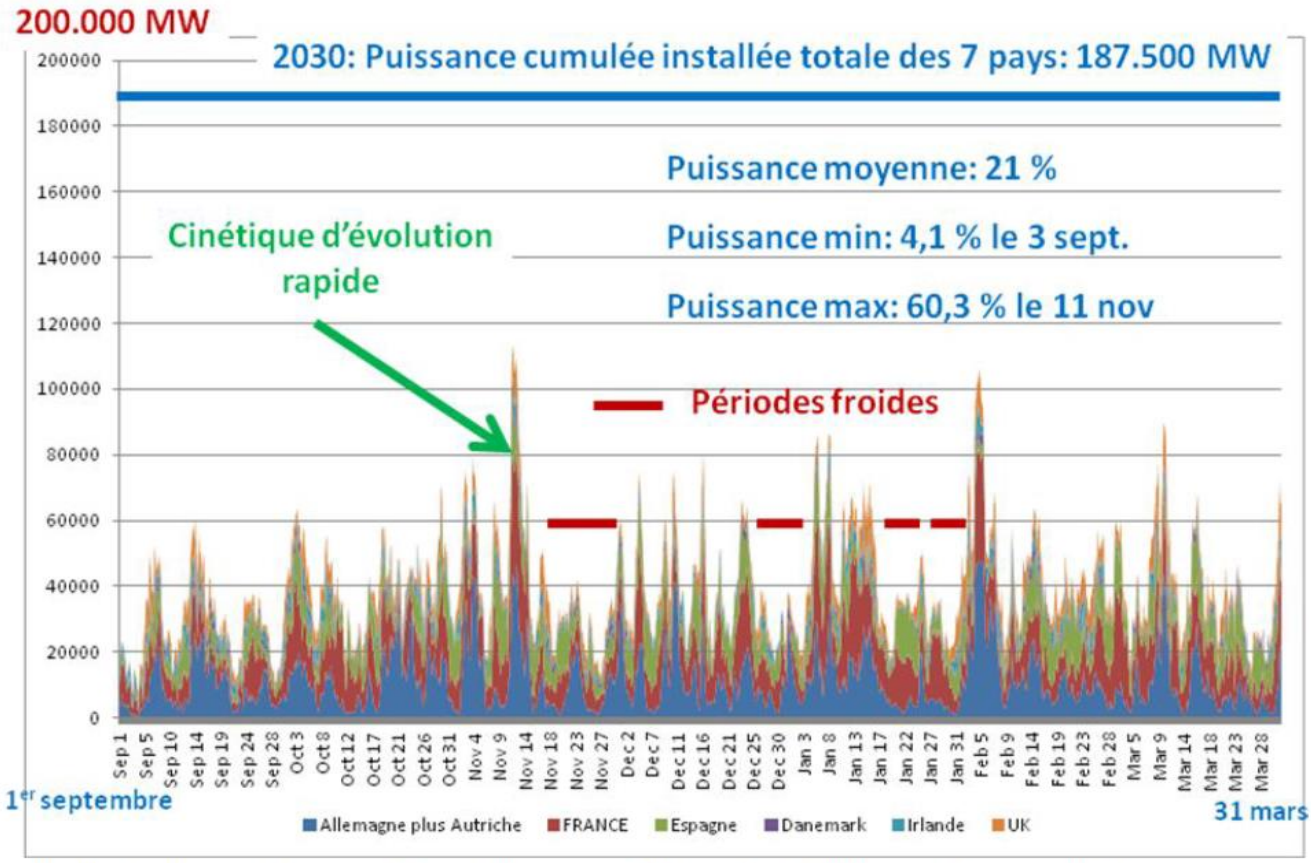


Fig. 8 - Empilement des productions éoliennes en MW, sur 7 mois d'hiver, qu'auraient les 7 pays pour une puissance éolienne totale triple de l'actuelle (187500 MW au lieu de 65000).La contribution de chaque pays est représentée par une couleur différente. L'enveloppe des courbes correspond à la production totale.

Fig5

▪ Sur ce sujet du foisonnement, on lira aussi l'étude de Jean-Marc Jancovici en ref.2 .

Commentaire : le foisonnement (comme le stockage d'ailleurs) n'est que l'un des points abordés dans cette excellente étude, qui mérite absolument d'être citée pour sa clarté et son approche globale des problèmes.

3-2-3 Tout ce qui a été dit ci-dessus vaut aussi pour l'éolien marin.

Il y a certes nettement plus de vent (le facteur de forme est d'environ 30%, au lieu de 22%), mais aucun des défauts majeurs de l'éolien ne disparait, et en particulier il y a toujours la possibilité de très importantes fluctuations à cinétique rapide.

On pourra lire l'étude en référence 30 (Hubert Floccard-Vent de terre, Vent de mer).

La puissance installée des parcs offshore étant considérable, une défaillance peut provoquer l'effondrement du réseau. C'est apparemment la défaillance d'un tel parc, qui n'a pu être rattrapée par la centrale thermique avec lequel il était couplé, qui est à l'origine de la panne d'électricité géante qui a affecté l'Angleterre le 9 août dernier (voir par exemple l'article en ref.4 [12]). A noter l'omerta sur ce sujet : en France, la quasi-totalité des médias qui en ont parlé on simplement fait état, en ce qui concerne son origine, de la « panne de 2 générateurs ».

3-2-4 Il n'y a rien de décisif à attendre d'une amélioration des prévisions météo.
En effet, le vent et l'ensoleillement n'en seront pas plus maîtrisables pour autant.

[12] ref.4 « La panne d'un parc éolien et d'une centrale à gaz est à l'origine de l'une des pires coupures d'électricité de Grande-Bretagne depuis des années »

Le seul intérêt de ces améliorations est de contribuer à organiser au mieux la disponibilité des sources pilotables en fonction de la météo.

3-3 Les conséquences de l'intermittence sur la production d'électricité.

Notons que tout ce qui est dit ici pour l'éolien vaut aussi pour le solaire, qui, techniquement, a fondamentalement les mêmes défauts.

3-3-1 Un évident problème d'irrégularité de la production.

Qu'il y ait des jours ventés et des jours sans vent- voire des semaines ventées et des semaines sans vent- est d'observation courante. Qu'il en résulte que la puissance moyenne réellement délivrée ne puisse être que très inférieure à la puissance installée, et que lorsque le vent ne souffle pas, ce qui peut durer longtemps, il faut bien trouver une autre source d'électricité est à peu près évident pour tout le monde. De même qu'il est à peu près évident que lorsque les éoliennes produisent beaucoup d'électricité (ce qui arrive…), il n'y a aucune raison que ce soit lorsqu'on en a besoin, c'est à dire lorsque le nucléaire et l'hydraulique ne suffisent pas, et qu'il faut donc faire appel au thermique à combustible fossile.

3-3-2 Mais aussi les conséquences de ce que, la **production et la consommation d'électricité devant rester équilibrées à tout instant**, les fluctuations permanentes et non maîtrisables de l'électricité issue de l'éolien et du solaire induisent des contraintes très fortes sur son utilisation; il en résulte en définitive une augmentation de l'appel au thermique à combustible fossile.

▪ Techniquement cette obligation se traduit par l'obligation de maintenir la synchronisation des sources de production d'électricité à une fréquence très voisine de 50hz (n'oublions pas que nous sommes alimentés en courant alternatif) : voir sur ce point le §3 de l'annexe 1.

Si l'on s'écarte de cet équilibre, des délestages sont enclenchés (ce qui signifie la fin du fonctionnement normal du réseau) et cela peut, dans les mauvais cas de figure, se terminer par un black-out généralisé, avec des écroulements en cascade.

▪ Ceci ne peut se faire que si l'on dispose d'une puissance installée de sources pilotables permettant à tout instant de réagir dans un sens ou dans un autre en cas de déséquilibre.

En ce qui concerne les moyens de production, la capacité de réaction du nucléaire a certaines limites[13]. Les centrales hydroélectrique à lac[14] aussi, car elles ont des contraintes de régulation du débit des cours d'eau à respecter. En définitive c'est le thermique classique, consommateur de combustibles fossiles, qui possède le plus fort potentiel de régulation. Une partie de l'utilisation du thermique résulte de l'obligation d'assurer cette régulation.

Jusqu'à l'apparition de sources intermittentes, le déséquilibre ne pouvait résulter que de variations de la consommation d'électricité, ou de pannes (panne d'une centrale, coupure d'une ligne). A ces sources de déséquilibre, qui demeurent, se sont donc ajoutées les variations non maîtrisables, et qui de plus peuvent être à la fois très importantes et très rapides, de la production de l'éolien[15] (ainsi d'ailleurs que du solaire). Insistons bien sur le fait que ces variations posent problème dans les deux sens : du fait de la priorité d'injection sur le réseau accordée à l'éolien et au solaire, ce n'est pas uniquement lorsque le vent cesse de

[13] Les centrales nucléaires françaises ont une certaine capacité de régulation (capacité de « suivi de charge »). EDF a depuis un certain nombre d'années entrepris de l'augmenter (https://fr.wikipedia.org/wiki/Suivi_de_charge). C'est en fait le seul moyen, dans le contexte français, de diminuer l'utilisation du thermique. Mais il y a une limite à l'utilisation effective fréquente de ces capacités : dépasser cette limite serait de nature à accélérer le vieillissement du réacteur.

[14] C'est-à-dire hors centrales dites « au fil de l'eau », telles que les centrales installées sur le Rhône, qui représentent environ le tiers de la production hydroélectrique française.

[15] La gigantesque panne d'électricité qui paralysa une bonne partie de l'Europe le 4 novembre 2006 avait certes pour point de départ la coupure inopinée d'une ligne électrique en Allemagne. Mais les conséquences de cet incident auraient du demeurer limitées. Le comportement aléatoire d'importantes productions éoliennes en Europe du nord et en Espagne semble avoir joué un rôle très important dans ce qui s'est passé.

souffler ou que le ciel se voile, qu'elles posent problème, mais aussi lorsqu'il se met à souffler, ou que le soleil brille à nouveau.
Il résulte donc des besoins de régulation supplémentaires créés par l'introduction de sources intermittentes des besoins supplémentaires en thermique à combustible fossile[16].

▪ C'est cette irrégularité permanente et non maîtrisable de l'électricité délivrée par l'éolien et le solaire (autrement dit, la très mauvaise qualité de cette électricité) qui, jointe à sa forte irrégularité sur des durées qui peuvent aller de l'heure à plusieurs semaines, a partout jusqu'à présent (voir annexe 1) drastiquement limité leur capacité à remplacer du thermique à combustible fossile, même lorsqu'il n'y a que du thermique à combustible fossile à remplacer. Très bien connu des spécialistes, ce problème est à peu près totalement occulté.

3.3-3 Analyse des contraintes qui en résultent sur le système de production et de transport de l'électricité, dans le cas de la France

3.3.3.1 Situation avant l'introduction de sources intermittentes (éolien et solaire).

▪ Toutes les sources de production d'électricité étaient pilotables. Il s'agissait donc simplement de gérer les variations de la demande d'électricité, et d'être en situation de faire face aux éventuelles pannes (typiquement, l'arrêt brutal d'un réacteur nucléaire, ou la rupture d'une ligne de très haute tension). Le principe de cette gestion était d'une grande simplicité:

- La production « de base » était fournie :

. par le nucléaire, qui est pilotable mais dont on a vu que les capacités de variation rapide en puissance ont certaines limitations.

. par l'hydraulique « au fil de l'eau », qui n'est pas pilotable (on peut certes le piloter à la baisse en laissant volontairement passer de l'eau sans la turbiner, mais c'est particulièrement peu judicieux, s'agissant de plus d'une source d'électricité dont le prix de revient est très peu élevé).

Les STEP permettaient un lissage de la production nucléaire, en stockant une partie de l'électricité produite aux heures creuses.

- Les centrales pilotables autres que les centrales nucléaires (centrales hydrauliques à lac, dont STEP, et thermique à combustible fossile) fournissaient le complément, **le thermique n'étant appelé qu'en tout dernier ressort**.

Bien que ne fournissant que 9% environ de la production française (ce chiffre variant autour de cette valeur en fonction des fluctuations de l'hydraulique, autrement dit de la pluviosité, ainsi que de la durée des périodes de grands froids, source majeure de pics de consommation), ce thermique restait absolument indispensable. Sous réserve que sa puissance installée ait été largement surdimensionnée, ce qui était le cas, il était en effet le seul moyen de production capable, en toutes circonstances :

. de faire face aux pics de consommation (les plus importants se situant dans les périodes de grand froid), pendant lesquels tous les moyens doivent être mobilisés.

. de réguler les variations permanentes de la demande, ce que ne peut faire que de façon limitée le nucléaire, et ne peuvent faire en complément à elles seules les centrales à lac (de plus, il n'y en a pas partout en France).

. d'assurer la sécurité du réseau: il est en effet le seul à pouvoir faire face rapidement à des défaillances de grande ampleur.

Bien que le taux d'utilisation de sa puissance installée soit faible, le fait que l'on ne fasse appel à lui que lorsqu'il est indispensable pour satisfaire la demande d'électricité permettait sa rentabilité économique: en effet l'électricité produite peut alors se vendre très cher.

[16] On verra plus précisément ci-dessous comment cela se passe.

- On aura noté que ce schéma, qui minimise l'utilisation de combustible fossile, minimise aussi le prix de revient de l'électricité produite, le prix de revient de l'électricité d'origine nucléaire ou hydraulique étant nettement inférieur à celui de l'électricité d'origine thermique.

▪ En ce qui concerne le réseau de transport d'électricité, il avait simplement à être dimensionné de façon à pouvoir distribuer l'électricité à partir des sources de production, ainsi qu'à faire face aux variations de la consommation et aux pannes éventuelles.

3.3.3.2 Situation après l'introduction d'importantes puissances installées intermittentes (c'est-à-dire éolien et solaire), avec de plus obligation d'injection sur le réseau.

▪ Il est facile de voir, sans faire aucun calcul, par un simple raisonnement global, que vis à vis de l'objectif de diminuer l'utilisation de combustible fossile, l'introduction de ces sources intermittentes ne peut pas apporter grand-chose, et peut même avoir des effets négatifs.

- Certes, il peut remplacer du thermique lorsque ce dernier est utilisé pour faire face aux pics de consommation. Mais encore faut-il que le vent souffle à ce moment-là et, comme l'a montré le rapport Floccard-Peres, très fâcheusement le vent ne souffle pas dans les périodes de grand froid, qui sont celles où les pics de consommation sont les plus importants.

- Par contre, lorsque le vent souffle ou que le ciel s'est dégagé, comme on vient de le voir, il rajoute des besoins de régulation supplémentaires, et donc la nécessité de faire appel à du thermique supplémentaire, puisqu'il faut maintenant non seulement réguler à tout instant les variations de la consommation, mais aussi celles de la production éolienne**.**

▪ D'évidentes contraintes supplémentaires pèsent sur le réseau de transport. La production étant éparpillée, il faut construire des lignes nouvelles et renforcer les lignes existantes pour la pour pouvoir la collecter et l'acheminer partout. Concrètement, la consommation d'électricité et la structure de la production hors éolien n'ayant pas évolué, tout ce qui s'est fait dans ce domaine depuis une quinzaine d'années n'a eu d'autre justification que l'éolien (et maintenant le solaire).

▪ Le schéma décrit au §3.3.3.1 correspondait à l'optimum à tous points de vue, à la fois au plan économique et en ce qui concerne la limitation des émissions de CO2. Il n'en est maintenant plus du tout de même. Les jours où, par exemple, plus des ¾ de la puissance installée éolienne est effectivement utilisée sont salués par des cocoricos dans les médias, mais sont le cauchemar de tous les acteurs du système autre que les producteurs éoliens, à qui revient la charge, quel qu'en soit le prix, d'assurer quoiqu'il arrive son bon fonctionnement : même si en définitive ils ne pourront vendre que peu d'électricité, ils doivent pourtant absolument rester en fonctionnement. Quant aux consommateurs et à la collectivité nationale, à qui reviennent en définitive de payer tout cela, c'est une journée qui leur revient très cher, puisque le prix d'achat de l'éolien, qui est garanti aux producteurs, est très supérieur à celui de toutes les autres sources auxquelles on a imposé qu'il se substitue.

4-Quinze années de politique d'implantation massive de l'éolien en France, et toujours pas de signe visible d'une réduction de la consommation de combustible fossile…

4-1 Les chiffres de RTE

▪ *Le tableau de la fig.6 présente les 2 premières années et les 2 dernières années de la période 2006-2018* (avant 2006 la production d'électricité issue de sources intermittentes, autrement dit de l'éolien et du solaire, était tout à fait marginale)

En complément, le lecteur trouvera en annexe 2 une analyse année par année. La production d'électricité issue du thermique à combustible fossile peut en effet varier considérablement d'une année sur l'autre, les principaux facteurs de variation étant :

- Le niveau de disponibilité du parc nucléaire : plus il est élevé, moins il est nécessaire de faire appel au thermique en complément du nucléaire et de l'hydraulique.

- La pluviosité, pour la même raison : plus elle est élevée, plus la production hydraulique est élevée.
- Les hivers froids, d'où il résulte plus fréquemment des pics de consommation élevés.

▪ On notera que la production globale n'a pour ainsi dire pas évolué: les comparaisons s'en trouvent donc simplifiées.

En 2018, la production éolien+solaire a représenté 70% du thermique à combustible fossile de 2006, et le seul éolien 52%. Si l'appel au thermique à combustible fossile était significativement réduit par l'éolien et le solaire, cela devrait apparaître très nettement.

L'étude de l'ADEME en ref.3 [17] estime à 86% la part de l'éolien remplaçant du thermique à combustible fossile. En considérant que ce coefficient vaut aussi pour le solaire, il ne devrait plus rester en 2018 que 42% du thermique initial. Or en 2018, année favorable[18], il en restait 72%. En 2017, année beaucoup moins favorable (hiver rude à faible pluviosité, et moins bonne disponibilité du parc nucléaire), il en restait 101%.

Ce n'est donc manifestement pas le cas: les estimations de l'ADEME sont grossièrement erronées (on verra ci-dessous comment elle a pu arriver à ce résultat). En fait, il n'est même pas évident qu'il y ait simplement eu, de 2006 à 2018, une diminution de l'appel au thermique à combustible fossile.

France métropolitaine; productions d'électricité 2006& 2007 puis 2017 & 2018 (source :RTE)

	En quantité (Twh)				En % de la production totale			
	2006	2007	2017	2018	2006	2007	2017	2018
nucléaire	428,7	418,6	379,1	393	78,07%	76,85%	71,61%	71,72%
thermique à combustible fossile	54	55	54,4	39	9,83%	10,10%	10,28%	7,12%
hydraulique	60,9	63,2	53,6	68	11,09%	11,60%	10,12%	12,41%
éolien	2,2	4	24	28	0,40%	0,73%	4,53%	5,11%
solaire	0	0	9,2	10	0,00%	0,00%	1,74%	1,82%
autres renouvelables	3,3	3,9	9,1	10	0,60%	0,72%	1,72%	1,82%
total	**549,1**	**544,7**	**529,4**	**548**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
sous total éolien+ solaire	**2,2**	**4**	**33,2**	**38**	**0,40%**	**0,73%**	**6,27%**	**6,93%**
puissance installée éolien fin année (Gw)	0,5	1,2	11,8	13,6	0,5	1,2	11,8	13,6

Fig.6

L'analyse année par année effectuée en annexe 2 confirme cet échec total vis-à-vis de l'objectif de réduction des émissions de CO2.

Elle confirme en outre l'inutilité de l'éolien lors des hivers froids, et fait apparaître son inaptitude, ainsi que celle du solaire, à éviter qu'une augmentation de l'appel au thermique ne résulte d'une diminution de la puissance nucléaire disponible.

. Il se pourrait qu'il y ait une certaine tendance à la diminution de l'appel au thermique à combustible fossile. Mais elle résulterait sans doute plutôt de ce que la plupart des derniers hivers ont été doux et pluvieux. Elle pourrait résulter aussi de l'augmentation de la capacité de « suivi de charge » des centrales nucléaires.

4-2 En fait, ce n'est pas du thermique que remplacent l'éolien et le solaire, mais essentiellement du nucléaire.

[17] Ref.3 (en page 16) : ADEME « « ÉTUDE SUR LA FILIÈRE ÉOLIENNE FRANÇAISE -BILAN, PROSPECTIVE, STRATÉGIE- Synthèse (septembre 2017)

[18] En ce qui concerne la diminution de 15,4 Twh de 2017 à 2018, le bilan RTE 2018 précise bien que cela ne résulte que d'une meilleure pluviométrie et d'une amélioration de la disponibilité du nucléaire : « Le redressement progressif de la production nucléaire (+3,7%) et la forte hausse de la production hydraulique ont entrainé une moindre mobilisation des moyens thermiques à combustible fossile (-26,8%, soit -15,4Twh), et donc une diminution des émissions de CO2 de 28% ».

Compte tenu de ce que l'on a vu au §3, leur inefficacité à remplacer du thermique à combustible fossile n'est assurément pas une surprise.

Mais alors, qu'ont-ils remplacé? La réponse est à peu près évidente : ce ne peut être que du nucléaire.

La compréhension du mécanisme exact de ce remplacement demande toutefois une certaine attention :

a) Soit on se trouve dans la situation où les variations de l'éolien sont à tout instant régulées par le nucléaire : dans ce cas l'éolien remplace directement du nucléaire.

b) Soit ce n'est pas le cas. Lorsqu'il en est ainsi, en fonction des prévisions météo pour le lendemain, on diminue volontairement la production nucléaire, de façon à être à peu près certain de laisser la place aux pics de production éoliens, l'essentiel de la régulation étant de ce fait assurée par de l'hydraulique et du thermique à combustible fossile**. On voit donc apparaître du thermique à combustible fossile alors que, sans éolien, il n'y en aurait pas eu**. On notera que ceci ne peut être mis en évidence que si l'on analyse la situation globalement, et sur une durée suffisamment longue. Si on se limite à des analyses à l'échelle de la demi-heure, la conclusion est que c'est uniquement du thermique que l'éolien remplace.

C'est à partir de telles analyses que l'ADEME a pu conclure en ref.3, comme on l'a vu plus haut, que l'éolien remplaçait à 86% du thermique à combustible fossile, et à 14% du nucléaire.

▪ Il résulte de ce qui précède que, non seulement l'éolien est inutile et pose de multiples problèmes qui n'existeraient pas en son absence, mais que, en remplaçant essentiellement du nucléaire, **il diminue le facteur de forme de ce dernier, réduisant ainsi sa rentabilité.**

▪ Cette inutilité de l'éolien, qui ressort comme on vient de le voir de considérations relativement simples, était évidemment parfaitement connue dès le début. M. Marcel Boiteux, qui a dirigé EDF pendant plus de 20 ans en qualité de directeur général, avait ainsi résumé la situation en 2007 (ref.28):

« …si le Kwh éolien était payé au service rendu – remplacer des Kwh nucléaires et, de temps à autre, des Kwh pétroliers – les éoliennes appartiendraient encore au secteur des énergies futuristes. Mais le parlement et/ou le gouvernement ont décidé au nom du peuple souverain que le Kwh éolien, qui coûte à son fournisseur environ deux fois plus cher qu'il ne rapporte à EDF, serait payé au dit fournisseur trois fois plus cher».

4-3 Ce qui a permis tout cela: la directive 2001/77/CE, depuis laquelle, par un véritable tour de passe-passe, des objectifs qui auraient du être des objectifs de réduction des émissions de CO2 ont été remplacés par des objectifs de proportion minimum d'électricité issue de sources renouvelables, ce qui n'est absolument pas la même chose.

Comme on vient de le voir, l'efficacité de l'éolien vis-à-vis de la réduction de l'utilisation de combustible fossile, et donc de réduction des émissions de CO2, est objectivement désastreuse, alors même que le protocole de Kyoto de 1997, auquel se réfèrent, pour la justifier, les directives européennes relatives à la promotion de l'électricité produite à partir de sources renouvelables, puis les lois françaises qui en ont été déduites, a pour seul objectif la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Pourtant tous les bilans annuels de RTE se félicitent que les objectifs assignés à la France aient été atteints, et ceci est parfaitement exact: ces objectifs, qui ont été définis par la loi, sont en effet uniquement des objectifs de pourcentage de production d'électricité à partir de sources renouvelables et des objectifs de puissances installées d'éolien et de solaire. Ce ne sont absolument pas des objectifs de réduction des émissions de CO2.

A l'origine de tout cela, la directive 2001/77/CE « relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité » (ref. 11).
Depuis cette directive, en ce qui concerne l'électricité, les objectifs fixés à chaque pays ont été uniquement des objectifs de moyen, à savoir un pourcentage minimum de production d'électricité à partir de sources renouvelables, et non de résultat **(**une diminution des émissions de CO2).

Le gouvernement français a systématiquement accepté de voir fixés à la France des objectifs « ambitieux » de production d'électricité issue de sources renouvelables, ce qui a ensuite imposé, dans la transcription dans la loi française, d'attribuer des objectifs très élevés de puissance installée à l'éolien et le solaire, seules sources ayant un fort potentiel de développement.

Découlant de directives européennes, puis de la loi française, ces objectifs se sont imposés à tous les acteurs étatiques, ou qui dépendent de l'Etat. Ils sont en outre repris en boucle par l'ADEME, les promoteurs éoliens et les organismes défendant leurs intérêts, ainsi que par la plupart des grands médias.

5- Le bobard de la « compétitivité » de l'éolien

▪ La progression impressionnante de l'éolien en France (et dans quelques autres pays) ne doit strictement rien à une quelconque compétitivité.
Elle résulte mécaniquement :

- De ce que, au sommet de tout cela, comme on vient de le voir, depuis 2001, la loi assimile la maximisation de la réduction des émissions de CO2 à la maximisation de la production d'électricité issue de sources renouvelables, ce qui revient à maximiser la production d'éolien et de solaire : plus on en injecte sur le réseau, plus on contribue à sauver la planète.

- Des privilèges exorbitants qui, très logiquement, leur ont donc été conférés :

a) Priorité d'injection sur le réseau. Autrement dit toute l'électricité pouvant être produite doit être injectée sur le réseau, quelle que soit son utilité réelle à ce moment, et quels que soient les problèmes que cela peut poser : c'est au reste du monde de faire ce qu'il faut (et d'y dépenser en particulier les sommes nécessaires) pour qu'elle puisse être injectée.

b) Achat à un prix garanti pendant X années (pour l'éolien initialement 15, aujourd'hui 20) de l'électricité injectée. Si, pour des raisons techniques, cette injection ne peut se faire, des dispositions sont prévues pour dédommager le producteur éolien de l'électricité non produite[19] [20]
Ce dernier point est absolument essentiel, car ces situations, qui se sont toujours produites pour des raisons de maintien de la sécurité du réseau, sont appelées à devenir de plus en plus fréquentes avec la progression de l'éolien.
De plus le prix d'achat garanti a **toujours** permis aux promoteurs éoliens, tout en conservant un bénéfice substantiel, de dégager des sommes très importantes pour une rémunération très motivante des propriétaires sur les terres desquels les éoliennes sont installées, ainsi que pour l'utilisation des médias, l'assistance juridique, le lobbying à tous les niveaux politiques, et la conduite d'actions de nature à déblayer les divers obstacles qui peuvent se présenter.

c) Dérégulation de l'installation des éoliennes. Aujourd'hui, à partir du moment où un promoteur a l'accord du propriétaire, et qu'un certain nombre de règles d'implantation peu limitatives sont respectées, plus rien ne s'oppose en pratique à l'installation d'un parc éolien.
La loi Brottes[21] du 24/7/2013 a en effet à peu près totalement dérégulé l'implantation des éoliennes, supprimant à peu près toutes les possibilités de recours: voir l'analyse qui en a été faite par Vent de la Colère (ref. 15). Depuis, pour accélérer encore les processus d'installation, le gouvernement s'est attaché à supprimer ou à amoindrir l'incidence de tout ce qui pouvait encore s'y opposer: voir en particulier l'analyse du projet de décret Lecornu (ref.18). Ce décret, promulgué en novembre 2018, impose que les plaintes soient

[19] La note SFE-SER-FEE-RTE-ENEDIS en ref. 22 précise bien qu'une telle opération reste neutre pour le producteur.

[20] L'autorisation de ne pas injecter sur le réseau a été donnée par la directive européenne 2009/28/CE (ref.21) Cette autorisation était de pure forme : directive européenne ou pas, dès qu'une source de production menace la sécurité, elle est déconnectée. Mais il a été précisé en outre que cela pouvait donner lieu à un dédommagement du producteur, ce qui a juridiquement déblayé le terrain : il ne va pas du tout de soi, en effet, qu'il soit licite que la non utilisation d'un produit inutilisé parce qu'il est inutilisable donne lieu à dédommagement.

[21] M. François Brottes, alors député, a depuis été nommé directeur de RTE.

directement instruites en premier et dernier ressort auprès des cours d'appel, ce qui oblige en outre le plaignant à prendre systématiquement un avocat.

On conçoit aisément qu'avec de telles dispositions l'éolien (suivi maintenant par le solaire) soit un des investissements les plus sûrs et les plus rentables que l'on puisse imaginer sur notre planète, et que des développements très rapides en aient systématiquement résulté.

Ajoutons, pour faire bonne mesure, que ces objectifs sont à l'abri des politiques d'austérité, du fait que l'essentiel des subventions est assuré par des taxes prélevées sur la consommation
Ce mode de financement, qui est neutre vis-à-vis de la dette publique, échappe à en effet à l'élaboration des budgets annuels (voir ci-dessus au §2.2 la mésaventure arrivée en 2013 à l'éolien espagnol, dont les subventions étaient assurées par le budget de l'Etat).
Il est bien certain que, par contre, cela pèse sur le pouvoir d'achat. Mais, pour qu'il en résulte quoi que ce soit, il faudrait de plus que, sur ce sujet tout de même assez complexe le consommateur de base, au vu des informations qu'il trouve dans les médias, ou que le gouvernement lui fournit, établisse le lien de cause à effet approprié, puis réagisse de façon efficace.

▪ Compte-tenu de ce qui précède, il faut un certain souffle[22] pour expliquer que « l'éolien est proche de la compétitivité », voire que « l'éolien est d'ores et déjà compétitif ». Et cela d'autant plus que l'on chercherait en vain, dans les études prospectives de l'ADEME, 30 ans après les débuts de l'éolien, une indication de la date à partir de laquelle il devra enfin voler de ses propres ailes.

On ne peut en fait parvenir à de telles conclusions qu'en se limitant à comparer des prix de revient en sortie de sources de production. Effectivement, avec l'apparition d'éoliennes de plus en plus gigantesques, ce prix de revient a tendance à baisser.

Mais si l'on considère, comme il se doit, le prix de revient du kwh éolien **garanti** au niveau de l'utilisateur, autrement dit si on intègre tout ce qu'il faut faire pour rendre utilisable une électricité irrégulièrement délivrée, de très mauvaise qualité, et qu'il faut de plus collecter en des milliers de points éparpillés sur tout le territoire, on constate qu'il est strictement impossible que l'éolien deviennne un jour économiquement compétitif avec une source pilotable classique. Ainsi, une étude de l'ADEME ayant conclu que le scénario 2060 économiquement le plus compétitif était le scénario 100% renouvelable (c'est-à-dire avec plus de nucléaire du tout), J.M. Jancovici, en comparant ce scénario à celui où il n'y aurait ni éolien ni solaire, mais du nucléaire, a montré que le prix de revient du kwh garanti était au moins 6 fois supérieur dans le premier cas (voir ref.6).

▪ L'existence d'un « marché[23]» de l'électricité contribue assez puissamment à embrouiller les esprits.
- Le fait que développement massif de l'éolien en France se fasse aujourd'hui dans un contexte où il existe un marché de l'électricité est souvent invoqué comme une justification de la compétitivité de l'éolien. On est évidemment en plein surréalisme, puisque, de par la loi, comme on l'a vu, il a la priorité d'injection et que, quel que soit le résultat du « marché », un « complément de rémunération » assure au producteur la rémunération de l'électricité injectée à un prix garanti.
C'est ainsi qu'on lit ou qu'on entend de plus en plus souvent que l'éviction du nucléaire par de l'éolien, qui est de plus en plus évidente et diminue d'ores et déjà significativement la rentabilité du nucléaire, est la démonstration que, placé enfin dans une situation de réelle concurrence, le nucléaire n'est pas compétitif avec l'éolien.

[22] Du moins lorsque l'on sait très bien ce qu'il en est, ce qui n'est pas le cas de la plupart des journalistes, qui se contentent de reproduire le contenu des plaquettes[22] et études de l'ADEME, voire des syndicats éoliens.
[23] Le terme « marché » a été mis entre guillemets, car il n'a strictement rien d'un marché au sens normal du terme. Pour plusieurs raisons, dont au moins qu'il est totalement surréaliste de parler de concurrence dès lors qu'une partie croissante des sources de production d'électricité échappe justement à toute concurrence. L'étude de Sauvons le climat en ref.9 témoigne en outre de la perplexité qui saisit quiconque essaye de comprendre en quoi consiste exactement ce « marché ».

- On notera qu'il résulte de l'internationalisation du marché une participation discrète de la France à la subvention de l'éolien des pays voisins, et évidemment en premier lieu de celui de l'Allemagne, dont on n'a nul besoin, et qui, grâce à son importance et à la forte interconnexion avec la France, se retrouve mécaniquement injecté sur notre réseau en quantités qui ne font que croître.

- On notera que le marché permet de rémunérer des « capacités négatives », c'est-à-dire de rémunérer discrètement[24] le renoncement du producteur éolien à la priorité d'injection de toute l'électricité qu'il pourrait produire, lorsque cela pose des problèmes au réseau[25].

6- La fable de l'éolien et du solaire, en tant qu'alternative décarbonnée « propre » au nucléaire.

▪ On a vu ci-dessus le constat d'échec de l'éolien en France. On trouvera en annexe 1 le constat de l'échec de l'Allemagne, échec emblématique s'il en est du fait de l'énormité des moyens qu'elle a consacrés à la « transition énergétique », et du fait qu'elle a commencé 10 ans avant la France. Malgré près de 25% d'éolien et de solaire, l'utilisation du thermique à combustible fossile n'a pas diminué : comme en France, c'est du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été évincé, pas du thermique. Et si l'Allemagne parvient à injecter sur son réseau de telles quantité d'intermittent, ce n'est que parce que, grâce à l'interconnexion des réseaux nationaux européens, elle peut évacuer vers les pays voisins les surplus de production de de plus en plus importants qui en résultent (et si nécessaire, lorsqu'il y a des prix négatifs, en consommer une partie en chauffant les petits oiseaux…).
De plus, prenant acte du fait que, sans stockage de masse, il est impossible de compter sur l'éolien et le solaire pour satisfaire aux besoins en électricité, l'Allemagne n'a absolument pas diminué sa puissance installée pilotable : les centrales nucléaires fermées ont été remplacées par des centrales thermiques de puissance installée au moins équivalentes.
En fait l'Allemagne a littéralement démontré expérimentalement que, en l'absence de stockage de masse, les sources intermittentes que sont l'éolien et les solaire sont incapables de réduire significativement les émissions de CO2.
Outre l'exemple de l'Allemagne un certain nombre de considérations (cf annexe 1) permettent de penser que, même dans le cas le plus favorable, qui est celui où il n'y a que du thermique à combustible fossile à remplacer, il ne semble pas que, au niveau d'un grand réseau isolé considéré globalement, on n'ait jamais pu, en l'absence de stockage de masse, parvenir à en remplacer nettement plus de 10%.

▪ Il se trouve que, au nom de la nécessité de « diversifier » les sources d'approvisionnement, le gouvernement français a engagé la France dans une politique de remplacement plus ou moins complet du nucléaire par des sources renouvelables (autrement dit par de l'éolien et du solaire) : un tiers au moins de la production nucléaire actuelle devra avoir été supprimé en 2035 au plus tard (la loi sur la transition énergétique de 2015 avait fixé 2025, mais cela a été depuis reporté en 2035), et ce tiers ne pourra qu'augmenter au fur et à mesure que seront arrêtés les réacteurs en service.
On ne fera pas l'injure au gouvernement de penser qu'il n'a pas perçu ce qu'avait d'étrange une diversification consistant à remplacer une source pilotable totalement décarbonée, et qui n'a plus à faire ses preuves, par des sources certes décarbonées elles aussi, mais intermittentes, avec les problèmes apparemment insolubles qui en résultent.
On notera aussi l'étrangeté du timing et de certains arguments invoqués: pourquoi 2035 au plus tard, alors que, au vu des éléments d'information disponibles, le parc de réacteurs actuel, mis en place de 1979 à 2002[26] devrait pouvoir être maintenu en place très largement après cette date (ainsi, aux USA, tous les réacteurs en service, une centaine environ, ont obtenu l'autorisation de fonctionner au moins 60 ans). Pourquoi, ainsi que

[24] C'est beaucoup plus discret que le système qui consiste à organiser explicitement, comme en Grande Bretagne, le dédommagement du producteur : cf ref. 29.
[25] Voir l'article en ref.23
[26] « L'âge» exact d'un réacteur nucléaire dépend de son utilisation, et il est en fait réactualisé à chaque visite décennale: voir l'article de wikipedia en ref.31. La fourchette 1979-2002 correspond à l'âge 0, tel qu'il est connu actuellement.

le prévoit le PPE 2018-2028 (ref.14), commencer à fermer des réacteurs bien avant 2035, pour « éviter d'avoir tous à les fermer en même temps » ?
On notera que ce PPE **s'inscrit de fait dans une politique de sortie du nucléaire** : aucune construction de nouvelles centrales n'est envisagée d'ici 2035, ce qui signifie concrètement l'abandon de la compétence de la France dans ce domaine.
On trouvera en annexe 3 des commentaires sur une étude de l'ADEME effectuée en 2018 pour éclairer le gouvernement dans l'établissement de ce PPE (Trajectoire d'évolution du mix électrique 2020-2060 »: ref.19). L'ADEME avait conclu que non seulement il était possible de remplacer du nucléaire par essentiellement de l'éolien et du solaire, mais que c'était la solution où il n'y avait plus de nucléaire du tout qui était économiquement la plus intéressante.

▪ **On observera surtout que cette politique ouvre un boulevard à l'éolien et le solaire**: c'est en effet par la nécessité d'être à ce rendez-vous de 2035 que sont dorénavant justifiés le triplement de l'éolien et le quadruplement du solaire prévus au PPE d'ici 2028.

▪ A moins de renoncer à son indépendance, la France devra, exactement comme l'Allemagne l'a fait, ne pas réduire sa puissance installée pilotable. Il n'y a alors que deux solutions :
c) Remplacer les centrales nucléaires arrêtées par des centrales thermiques à combustible fossile de puissance installée au moins égale. Mais cela ne pourra que dégrader le bilan carbone. On a d'ailleurs sous les yeux la situation qui serait approximativement la nôtre si, comme en Allemagne, le nucléaire ne représentait plus que 20% de la production totale : le thermique en représenterait les 2/3. On ne voit pas très bien, mis à part le fait qu'elle a plus d'hydraulique, pourquoi la France ferait nettement mieux.
d) Pour ne pas dégrader le bilan carbone, conserver les centrales nucléaires, dont la production sera simplement diminuée de ce qu'il faut pour laisser la place à l'intermittent (c'est d'ailleurs très exactement ce qui se passe aujourd'hui). Mais qui ne sent l'absurdité, à tous points de vue, d'une politique consistant à n'utiliser des centrales nucléaires que pour suppléer à l'éolien et au solaire lorsqu'il n'y a pas assez de vent ou du soleil?

▪ Mais voyons maintenant ce à quoi mènerait l'emploi d'un stockage de masse. On tombe immédiatement sur des chiffres délirants.
Dans le cas d'un stockage par des STEP, qui ne pourraient en France qu'être que des STEP de bord de mer, une étude de « Sauvons le climat » (ref.26) a calculé que cela nécessiterait d'implanter sur 3500 km de côtes des lacs salés situés à 50m au-dessus du niveau de la mer, de 1km de large et de 10m de profondeur. Il n'en est évidemment pas question. Politiquement, il ne serait même pas question de construire quelques % de tout cela.
Dans le cas d'un stockage par méthanation, le rendement n'est même pas de 1/3. Pour maintenir la sécurité de l'approvisionnement, environ 50% de l'éolien et 80% du solaire devraient passer par du stockage (estimation de Jean-Marc Jancovici : ref.6). Un calcul simple montre que, pour remplacer uniquement par de l'éolien 1/3 du nucléaire actuel, c'est au départ plus des 2/3 de ce dernier qui devra être produit. Avec comme conséquence le doublement du nombre des éoliennes nécessaires. Si c'est uniquement par du solaire, c'est plus de 80% du nucléaire actuel que devront produire au départ les panneaux solaires.
Un tiers du nucléaire actuel, c'est approximativement 140 Twh. Fin 2018, l'éolien produisait 28 Twh, et le solaire 10 Twh. S'il n'y avait pas de problème de rendement, cela ne nécessiterait que de multiplier la production actuelle solaire+éolien par 3,7.
Si l'on n'utilise que de l'éolien, il faudra qu'il produise environ 280 Twh, c'est-à-dire multiplier par 10 la puissance installée éolienne (ce qui fera dans les 80 000 éoliennes…). Si l'on n'utilise que du solaire, c'est 336 Twh qui devront être produits, ce qui correspond à une multiplication par plus de 30 de la production solaire actuelle.

7- Plus rien ne s'oppose aujourd'hui, juridiquement et techniquement, à la poursuite de la fuite en avant actuelle:

7-1 Elle résulte directement des engagements pris par le gouvernement français.

Les objectifs minimums fixés par le PPE 2019-2023 2024-2028 (ref.14) en ce qui concerne les sources d'électricité intermittentes sont en effet les suivants (fig.7) :

PPE 2019-2028 - Objectifs 2028 minimums de puissance installée d'electricité issue de sources intermittentes

	objectifs puissance installée (Gw)	production annuelle en résultant		rappel production 2018 (Twh)	rapport 2028/2018
		facteur de forme	production (Twh)		
éolien terrestre	34,1	0,22	65,7		
éolien marin	4,7	0,3	12,4		
total éolien	**38,8**		**78,1**	**28**	**2,8**
solaire (=photovoltaïque)	**35,6**	**0,14**	**43,7**	**10**	**4,4**
total intermittent	**74,4**		**121,7**	**38**	**3,2**

Fig.7

Ils résultent directement de l'objectif 2030 de proportion d'électricité issue de sources renouvelables que le gouvernement français s'est fixés[27] (40%, alors que l'on en n'est qu'à 20% environ) : l'éolien et le solaire sont en effet les seules sources renouvelables ayant le potentiel de croissance approprié.
On notera que dans le PPE aucune introduction d'un stockage de masse n'est prévue d'ici 2028, ni même jusqu'en 2035. On notera aussi que, très prudemment, il n'est dit nulle part qu'il apparaîtra un jour.

Sur ce qu'il résulterait de la tenue de ces objectifs, compte tenu de tout ce qui précède, aucun espoir n'est permis. Les mêmes causes produisant toujours les mêmes effets, l'éolien et le solaire continueront à remplacer avant tout du nucléaire, continuant à diminuer ainsi sa rentabilité, et cela sans aucun gain en ce qui concerne les émissions de CO2.
On a d'ores et déjà implanté pour rien 8000 éoliennes, avec leur cortège d'impacts sur les paysages, de problèmes sanitaires, d'atteinte à la biodiversité, de pollutions diverses et de scandales multiples[28]. On a d'ores et déjà construit ou renforcé pour rien des milliers de km de lignes électriques. Les consommateurs et la collectivité nationale ont déjà dépensé pour rien de plus d'une dizaine de milliards d'euros[29], au profit pour l'essentiel d'acteurs étrangers.

On remplacera pour rien les 8000 éoliennes actuelles, qui commencent à arriver en fin de vie, on en implantera pour rien environ 16 000[30] de plus, on construira pour rien de nouveaux milliers de km de lignes électriques, et on dépensera pour rien plus de vingt milliards supplémentaires…

[27] En cohérence avec le plan climat de l'UE (ref. 31).

[28] On pourra tout particulièrement lire l'excellent ouvrage de Fabien Bouglé « Eoliennes- la face noire de la transition écologique », éditions du Rocher) (ref.16)

[29] Voir le rapport dit « Julien Aubert » (ref.26). Ce rapport chiffre à 9 milliards d'euro le coût de l'aide à l'éolien français jusqu'en 2018. Le problème est que seul est aisé à mettre en évidence le coût de l'aide directe. Il faut y rajouter le coût des externalités induite par l'éolien, et en particulier celui de l'extension et du renforcement des réseaux de transport. En effet, la production éolienne et solaire étant éparpillée un peu partout, il faut aller la chercher où elle se trouve. En fait tous les renforcements et installations du réseau de transport français, ainsi d'ailleurs que des interconnexions avec les pays voisins, n'ont eu d'autre objet que de permettre la collecte et la circulation de l'éolien et du solaire. La quasi-totalité de ces coûts n'est pas à la charge des producteurs.

[30] Certainement nettement moins, en fait, en raison de la course au gigantisme et de l'apparition de l'éolien marin, mais cela donne tout de même une idée de l'ampleur de ce qu'il est prévu de faire dans les années à venir et de l'impact écologique que cela pourra avoir. Le gigantisme augmente diminue certes le nombre d'éoliennes nécessaires, mais il accroît les nuisances induites par chaque éolienne, et il nécessite qu'elles soient plus espacées.

On note même qu'il y aura eu une dégradation du service rendu, car il est expliqué dans le PPE qu'il faudra introduire un certain « pilotage de la demande » (en clair, des coupures autoritaires) pour faire face aux fluctuations des sources intermittentes.

7-2 Techniquement et juridiquement rien ne s'oppose à la tenue des objectifs que s'est fixés le gouvernement français.

▪ L'exemple de l'Allemagne, dont les potentiels éolien et solaire sont pourtant très inférieurs à ceux de la France, montre que ces objectifs sont parfaitement réalisables : les 38,8 Gw d'éolien de solaire ne représentent même pas les 2/3 de la puissance installée en Allemagne fin 2018 (58,9 Gw), et les 35,6 Gw de solaire tout juste les ¾ de la puissance installée solaire (46,2 Gw).

▪ Il est bien certain que la mauvaise qualité des 121,7 Twh ainsi produits posera, vis-à-vis de la sécurité du réseau, des problèmes beaucoup plus importants que les 38 Twh de 2018.
Mais, l'éolien et le solaire étant inutiles, il n'y a aucun problème qu'ils posent qui ne puisse être résolu par une solution en permanence disponible : la limitation plus ou moins complète de leur injection sur le réseau. Les promoteurs éoliens protesteront d'autant moins que, comme on l'a vu, toutes les dispositions sont en place pour que, en définitive, ils soient rémunérés aux prix garanti non pas seulement pour l'électricité qu'ils ont effectivement produit, mais aussi pour celle qu'ils auraient produit en l'absence de ces limitations.
Par ailleurs on s'attache activement à augmenter les possibilités de délestages autoritaires (le compteur Linky a été conçu pour cela), de façon à éviter le black-out en cas de fluctuations trop brutales de l'intermittent.

▪ Quant aux candidats investisseurs, ils se bousculent... Du fait de la redevance très motivante qui leur est reversée, on trouvera sans peine des propriétaires, et à partir du moment où un promoteur a l'accord du propriétaire, et qu'un certain nombre de règles d'implantation peu limitatives sont respectées, on a vu que plus rien ne s'opposait en pratique à l'installation d'un parc éolien.

▪ L'inconnue technique majeure réside en fait dans les fermetures anticipées de réacteurs nucléaires qui se feront effectivement. Certes, à part Fessenheim, rien n'est acté, et la mise en service de Flamanville devrait compenser à peu près cette fermeture.
Mais il est tout de même extrêmement préoccupant qu'un document gouvernemental envisage explicitement une diminution très significative de la puissance installée pilotable totale dans les années qui viennent, ce qui signifie très exactement qu'il envisage purement et simplement l'abandon de l'indépendance de la France dans le domaine de la production d'électricité.
Très concrètement, cela signifie qu'il envisage de rendre la France dépendante des puissances installées pilotables des pays voisins, c'est-à-dire en fait essentiellement du thermique à combustible fossile allemand, dont l'Allemagne a augmenté fortement la puissance installée, de manière à compenser largement la puissance installée nucléaire supprimée.

ANNEXE 1: Les très fortes limites de l'éolien (ainsi d'ailleurs que du solaire) dans la réduction de l'utilisation de combustible fossile dans la production d'électricité. Le bilan désastreux de 30 ans d'éolien en Europe.

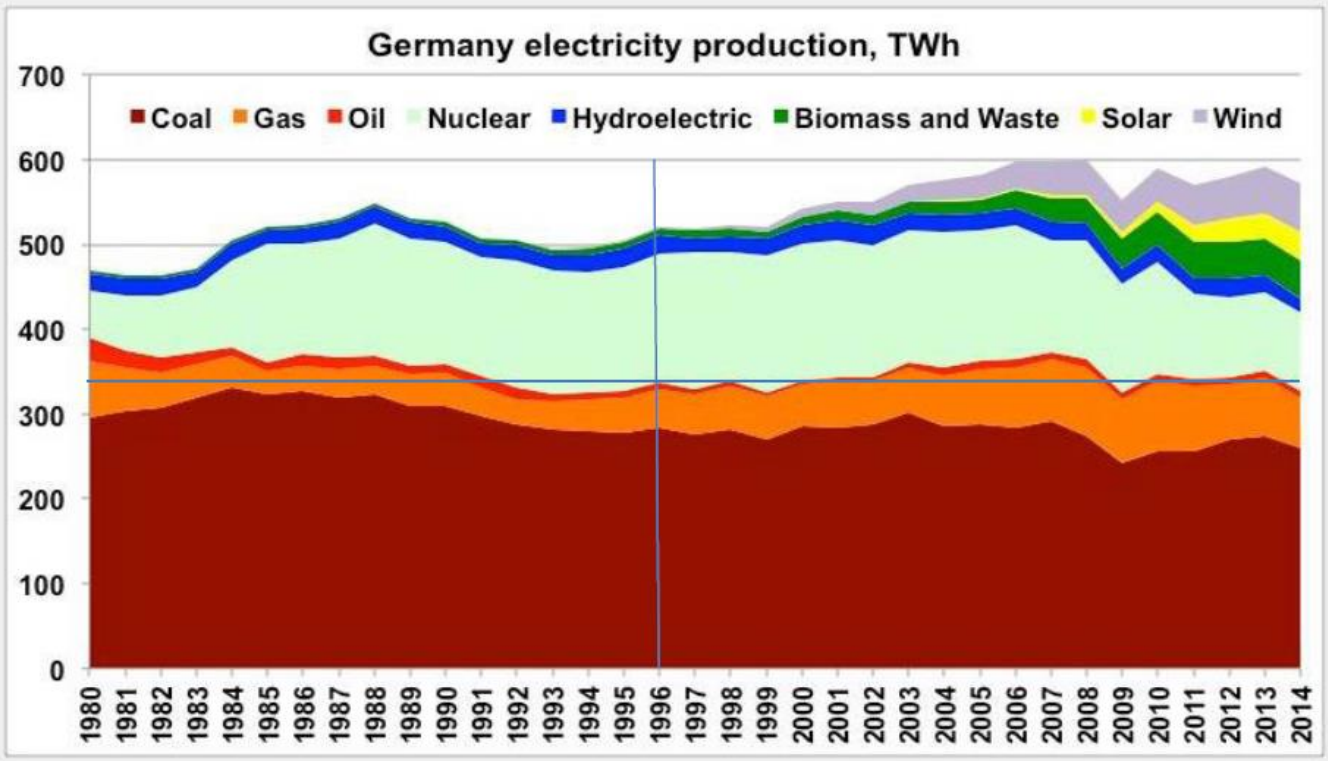
1-L'échec emblématique de l'Allemagne

L'Allemagne a massivement investi dans l'éolien dès les années 1990, puis dans le solaire depuis une quinzaine d'années.

Selon l'estimation de Jean-Marc. Jancovici (ref.5)[31], elle y avait en 2014 consacré 250 à 300 milliards d'euros, soit le coût de la reconstruction du parc nucléaire français à neuf (c'est-à-dire en remplaçant les réacteurs actuels par des EPR, qui intègrent une sécurité renforcée, et pourront, si nécessaire, être alimentés uniquement en combustible recyclé MOX, ce qui garantit la pérennité de leur approvisionnement). La part de l'éolien et du solaire dans sa production électrique est aujourd'hui considérable (24,6% en 2018 : 17,5% pour l'éolien, et 7,1% pour le solaire).

▪ **Pourtant, de 1996 (début de « l'energiewende[32]») à 2014, en Allemagne, le total de la production de thermique à combustible fossile n'a pour ainsi dire pas diminué :** cf fig. A1-1 **(**en 2014 le total éolien+solaire représentait déjà près de 20% de la production totale).

On notera en outre, dans ce graphique, la croissance de la production totale, alors même que la consommation de l'Allemagne, elle, n'a pas augmenté (fig. A1-2).



Evolution de la production électrique allemande de 1980 à 2014

Il est facile de constater que l'ensemble des fossiles (charbon, gaz et pétrole) est à peu près constant en valeur absolue depuis le début de « l'energiewende » (1996), avec certes un peu moins de charbon et un peu plus de gaz (et la quasi-disparition du pétrole).

[31] Ref.5: J.M. Jancovici « Vers quoi l'Allemagne transitionne-t-elle exactement ? »

[32] En français, la « transition énergétique »

Fig. A1-1 (extrait ref.5)

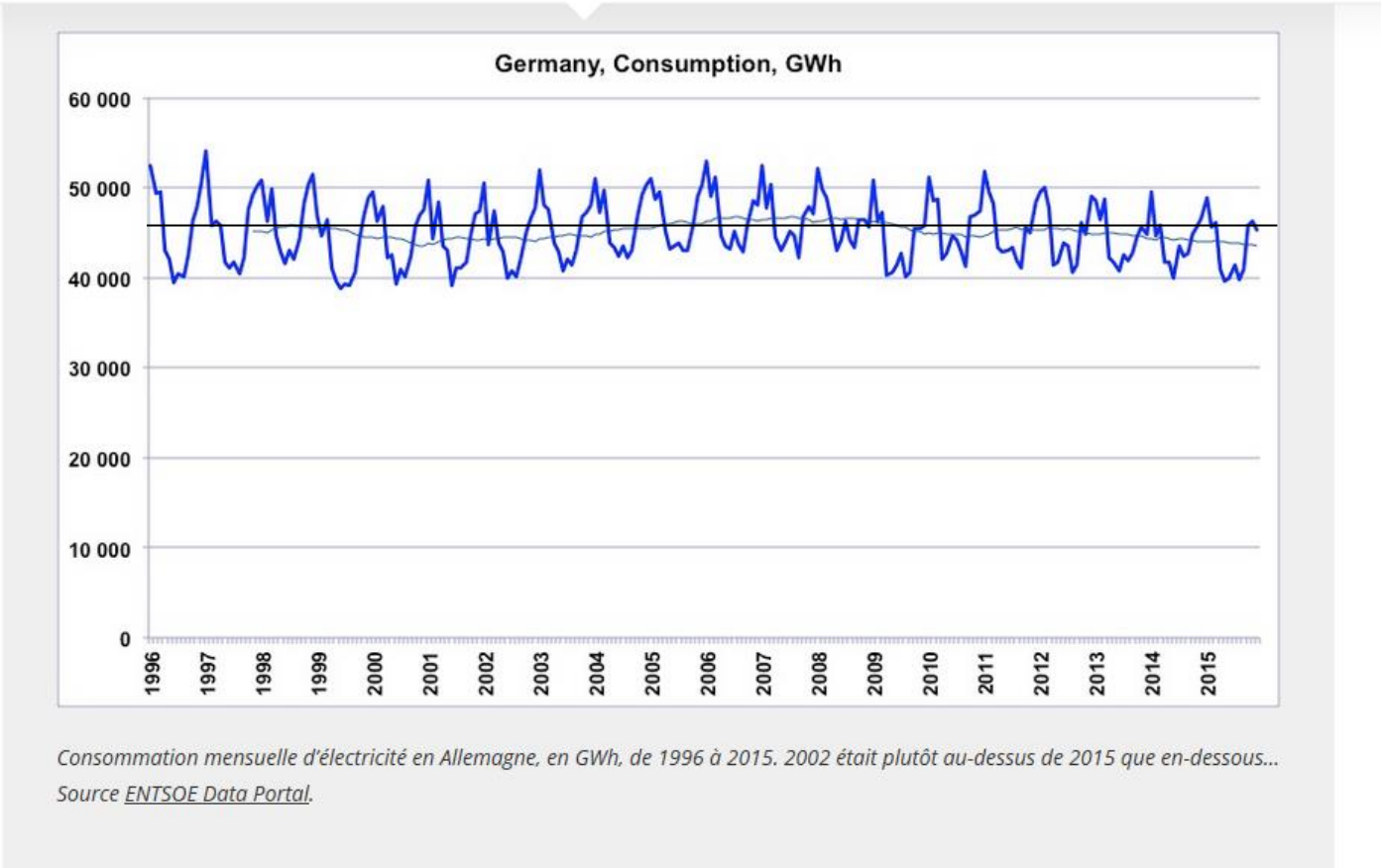


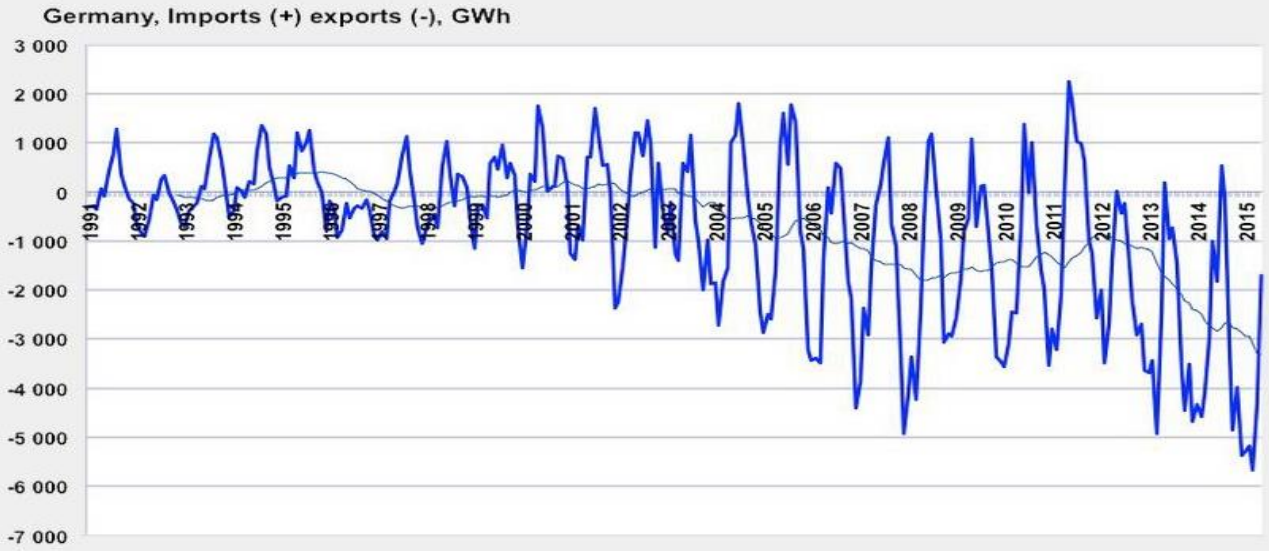
Fig. A1-2 (extrait ref.6)[33]

▪ En définitive, l'éolien et le solaire allemand n'ont d'autre utilisation que de remplacer du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, ou d'être exportés.

Le graphique de la fig. A1-3 (importations en positif, exportations en négatif) montre un lien évident entre l'augmentation des exportations et celle de la production éolien+solaire.

Le graphique de la fig. A1-4. se limite aux sources de productions décarbonées (autrement dit tout, sauf le thermique à combustible fossile) ; le total éolien+solaire y est en vert. Il sépare en outre ce qui est consommé par l'Allemagne (en positif) de ce qui est exporté (en négatif).
Il confirme que les exportations coïncident bien avec les pics de production du solaire et de l'éolien.
Il montre en outre que, lorsque l'on considère non pas la quantité d'électricité produite par l'Allemagne, mais la quantité d'électricité **consommée**, l'introduction massive d'éolien et de solaire **n'a pas augmenté la proportion d'électricité décarbonée**. C'est (comme en France, d'ailleurs) **du nucléaire, qui n'émet pas de CO2, qui a été essentiellement remplacé**, et non du thermique (dont on a vu à la fig.A1-1 qu'il n'avait pour ainsi dire pas bougé).

[33] Ref.6 : étude de J.M. Jancovici « 100% renouvelables pour pas plus cher, fastoche ? »

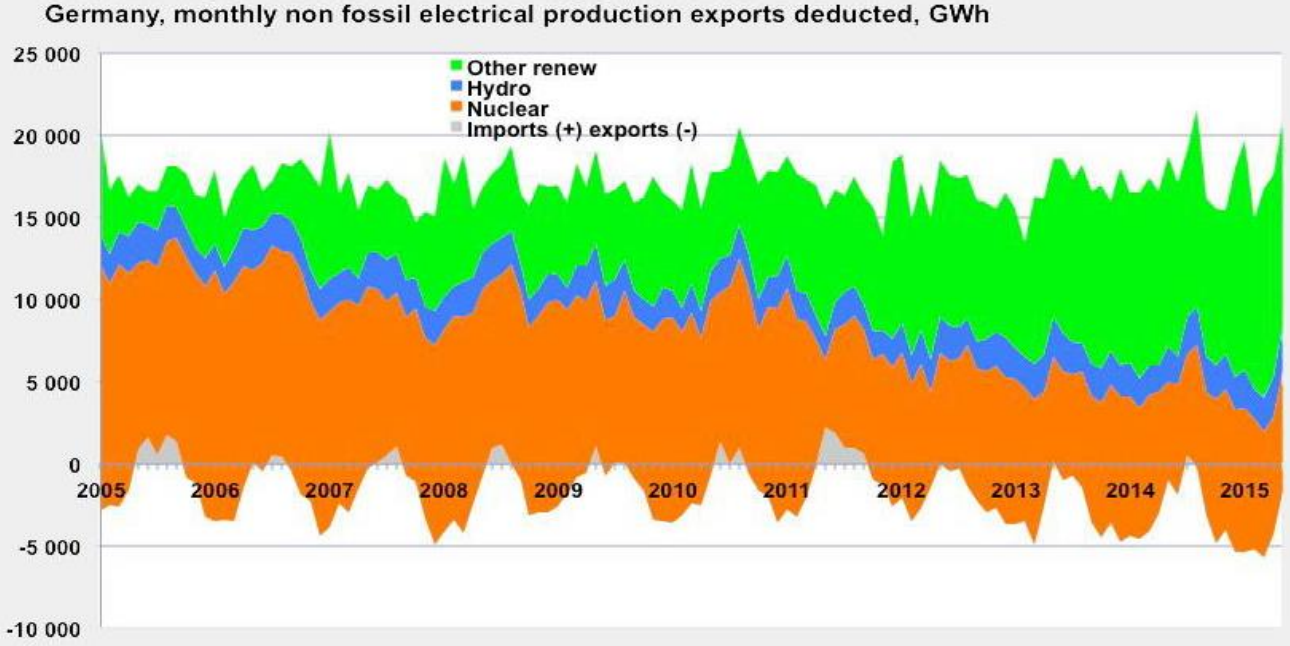


Solde mensuel des échanges entre l'Allemagne et le reste de l'Europe, en GWh, depuis janvier 1991.
(la courbe fine donne une moyenne glissante sur 23 mois).

Il est facile de constater que l'amplitude saisonnière augmente jusqu'en 2007, et reste depuis élevée, avec une augmentation des exportations nettes. En effet, sur l'ensemble de l'année, les allemands exportaient peu avant 2003, et le font de manière désormais plus importante, surtout en hiver.

Source : ENTSOE

Fig.A1-3 (extrait ref.5)



Production « non fossile » (ENR+nucléaire) une fois déduites les exportations qui sont apparues depuis les investissements massifs dans les ENR.

Surprise : ce qu'il reste pour les allemands est à peu près constant sur les 10 dernières années. Dit autrement les ENR ont très exactement servi à supprimer du nucléaire en Allemagne (sans rien gagner en CO2), et à créer des exportations fatales, qui ont fait baisser le facteur de charge des moyens hors Allemagne. Si ces moyens sont au charbon ou au gaz, cela engendre de fait des économies de CO2, mais s'ils sont nucléaires, on ne gagne rien non plus !

Calculs : Jancovici sur données ENTSOE

Fig.A1-4 (extrait ref.5)

▪ Dans le cas du Danemark, champion du monde de l'éolien en proportion d'électricité éolienne produite (50%), la situation est analogue : la majeure partie de l'électricité éolienne est exportée.

Une analyse, sur l'ensemble de l'année 2012, des exportations d'électricité du Danemark, heure par heure, en fonction de la production éolienne au Danemark, heure par heure, montre en effet (voir ref.7) que, quand la production horaire augmente de 1 MWh à cause de l'éolien, les exportations augmentent de 0,8 MWh[34]. Seuls 20% de la production éolienne de 2012, soit environ 2 Twh, avaient donc été effectivement consommés par le Danemark. Soit moins de 10% de sa consommation, alors que l'éolien a représenté en 2012 33,5% de sa production totale.

2- Les raisons profonde de cet échec dans la réduction des émissions de CO2: la très mauvaise qualité de l'électricité produite, du fait que le vent et l'ensoleillement ne sont pas maîtrisables, et qu'il faut à tout instant équilibrer production et consommation, limite la capacité d'absorption d'éolien et de solaire par un réseau, même lorsqu'il n'y a pas au total de surproduction.

▪ On a vu au §3.3.3.2

a) que la seule situation où l'éolien et le solaire étaient susceptibles de réduire l'appel au thermique à combustible fossile était celle des pics de consommations où, le nucléaire et l'hydraulique ne pouvant suffire, cet appel était indispensable. Dans le cas de l'Allemagne, l'importance du nucléaire et de l'hydraulique étant bien moindre qu'en France, ces situations sont beaucoup plus fréquentes.
b) Que, dans toutes les autres situations, lorsque le vent soufflait, il ne faisait que créer un problème supplémentaire de régulation, **du fait de l'obligation absolue d'équilibrer à tout instant la production et la consommation d'électricité**: à l'obligation de réguler les fluctuations de la consommation, qui ne sont pas maîtrisables se rajoute en effet, pour les sources pilotables, celle de réguler les fluctuations de la production éolienne (et solaire), elle aussi non maîtrisable. D'où un appel supplémentaire au thermique à combustible fossile, seule source pilotable en mesure d'assurer cette régulation en toute circonstance et aux échelles nécessaires. Mais, comme il y a beaucoup plus d'éolien et de solaire qu'en France, ces besoins de régulation supplémentaires sont aussi beaucoup plus importants.

   C'est ce qui explique que, au total, comme en France, l'utilisation du thermique à combustible fossile n'ait pas diminué en Allemagne, et que, toujours au total, comme en France, ce soit du nucléaire qui ait été remplacé, et non du thermique à combustible fossile.

   ▪ Par ailleurs l'obligation d'équilibrer à tout instant production et consommation impose que, lorsqu'il y a au total surproduction, il est impératif de s'en débarrasser immédiatement, soit en exploitant l'interconnexion des réseaux pour l'évacuer vers les pays voisins, sur lequel le problème est donc reporté, soit en la consommant localement, en chauffant les petits oiseaux[35].

3- Que signifie techniquement «équilibrer à tout moment la production et la consommation » ? Le problème crucial de la synchronisation des sources de production d'électricité.

Il se trouve que notre électricité n'est pas fournie en courant continu, mais en courant alternatif, à une fréquence qui de plus doit être réglée à 50hz avec une grande précision pour garantir le fonctionnement des appareils branchés sur le réseau (ou même simplement leur non-destruction).

Le maintien de cette fréquence est tellement indispensable que des automatismes sont prévus pour que, si ladite fréquence baisse ou monte un peu trop, soient enclenchés des délestages. Dans les mauvais cas de figure, cela peut se terminer par un black-out généralisé, avec des écroulements en cascade.

[34] Voir ref.7 : J.M. Jancovici «Les énergies renouvelables, c'est juste de l'éolien?»
[35] Ce que fait l'Allemagne: voir en ref.9 l'explication de l'objet boursier non identifié que sont les « prix négatifs ».

Ce réglage s'effectue en faisant varier, **en plus ou en moins**, la puissance injectée sur le réseau par les sources pilotables: si la fréquence baisse, on injecte plus de puissance, si elle augmente, on en retire.
Ceci n'est évidemment possible que si l'on dispose, pour faire face aux fluctuations combinées de la consommation et de la production d'électricité intermittente, d'une puissance installée suffisante de sources pilotables **totalement fiables**. On peut aussi, certes, jouer sur la puissance consommée en l'augmentant ou en la diminuant, en déconnectant ou en reconnectant des consommateurs, mais cela veut dire que l'on met fin au fonctionnement normal du réseau.
Notons que, à vent constant, on peut faire varier à la demande, dans une certaine mesure, la puissance délivrée par les éoliennes les plus modernes, et cela est utilisé pour essayer les faire participer à la synchronisation du réseau[36]. Mais, on butera toujours sur le fait que le vent n'est pas constant et que l'on ne peut, sur ce point crucial de la sécurité, se baser sur des moyennes statistiques.
A moins de les coupler localement à du stockage d'électricité par des batteries[37], ce qui est probablement techniquement possible et est effectivement étudié, mais introduit des complications et coûts supplémentaires, ainsi que tous les problèmes écologiques associés à l'utilisation de volumineux systèmes de batteries[38].

4- De tout ce qui précède résulte une limitation très forte de la capacité réelle des sources intermittentes à remplacer du thermique à combustible fossile (une dizaine de %?).

▪ Le cas le plus significatif (et le plus favorable à l'éolien) est le cas très simple d'une île isolée, de petite dimension (pas de perte de transport, donc), fortement et régulièrement ventée, ou l'éolien n'est couplé qu'à une centrale thermique (il ne peut donc remplacer que du thermique), cette centrale étant de plus largement dimensionnée. Au vu de l'expérience de Miquelon, il semble qu'un remplacement de 15% de ce thermique par de l'éolien soit le maximum admissible.

Neuf éoliennes (voir l'article en ref.8[39]), d'une puissance installée de 0,6 Mw, y avaient été installées en 1999, en complément de la centrale thermique[40] qui alimentait en électricité les 600 habitants (5,8 Mw, la pointe de consommation hivernale étant de 2 Mw). Leur utilisation à pleine puissance aurait permis la fourniture de 30% de la consommation de l'île. En fait ce taux n'a été que 15% en moyenne, du fait de l'impossibilité, au-delà, de garantir la sécurité du fonctionnement du réseau[41]: d'où un bridage des éoliennes. Elles ont été finalement démontées en 2014, faute de rentabilité économique (EDF ne payait à l'exploitant que l'électricité réellement produite).

▪ Dans le cas d'un réseau isolé de grande taille le problème est beaucoup plus complexe, et même à vrai dire inextricable (cela dépend de la nature des sources pilotables, de la nature et de la répartition géographique des sources pilotables, de la nature et de la répartition des sources intermittentes, des caractéristiques et de la localisation de la consommation, du maillage et de la capacité des réseaux, etc…). De multiples facteurs concourent à réduire les 15 % de réduction maximum du thermique à combustible fossile évoqués ci-dessus.

[36] Ce qui passe par la réduction de leur production. L'électricité non produite est alors payée au producteur (par l'achat de « capacités de production négatives »).
[37] Comme il ne s'agit que de corriger des déséquilibres sur de courtes durées, les capacités de stockage nécessaires devraient être accessibles à d'importants systèmes de batteries.
[38] Il faut bien être conscient que ces problèmes ont été identifiés depuis le début de l'éolien, c'est-à-dire depuis 30 ans, et que les technologies impliquées dans la partie production d'électricité (le générateur et l'électronique de puissance associée) sont des technologies depuis longtemps matures. S'ils n'ont toujours pas été résolus, malgré l'importance de l'enjeu, on peut penser que le coût des batteries n'en était pas la seule cause.
[39] Ref.8 : « Saint-Pierre-et-Miquelon abandonne l'éolien » 17/01/2014
[40] Voir ref.13
[41] Un autre facteur a sans doute joué, mais il ne peut être mis en évidence par des informations relatives à la seule production électrique : c'est la diminution du rendement de la centrale thermique, qui doit en permanence s'ajuster aux fortes variations de l'éolien (le rendement d'un moteur thermique n'est pas du tout le même dans toute la plage de son utilisation).

Un certain nombre d'études[42] donnent à penser que, dans un réseau isolé complexe de grande taille où il y a essentiellement du thermique, on ne peut guère dépasser 10%.
Et puis il y a, comme on l'a vu au §1 de cette annexe, l'exemple en vraie grandeur de l'Allemagne, d'où il ressort qu'elle n'a rien gagné ou l'analyse de la situation du Danemark en 2012, qui donnent à penser que cette estimation de 10% est optimiste.
On notera aussi le cas de la Pologne qui, n'ayant par ailleurs que des centrales thermiques, est idéalement placée pour bénéficier de l'éolien, qui fournit effectivement 7% de sa production totale. Depuis 2015 son extension a été stoppée (voir tableau du §2 du corps de ce dossier). Elle ne considère manifestement pas que l'éolien est une solution pour décarboner sa production.

5-Soulignons que c'est uniquement l'interconnexion des réseaux nationaux qui a permis d'injecter dans certains pays de très fortes quantités d'éolien et de solaire, non seulement en permettant l'évacuation des surplus locaux d'électricité, mais en faisant si nécessaire participer à la synchronisation du réseau du pays émetteur la puissance pilotable des pays voisins.

Dans le cas, évoqué ci-dessus, de Miquelon (600 habitants), il ne fait pas de doute que, si le réseau de l'île avait été raccordé à celui de Saint Pierre (5400 habitants) par une ligne de capacité suffisante, la totalité de la production des éoliennes de Miquelon aurait pu être acceptée, aucune éolienne n'ayant été installée à Saint Pierre : les 30% d'électricité intermittente n'auraient plus représenté que 3 à 4% de la consommation globale. En multipliant par 3,3 la puissance éolienne installée à Miquelon, ce qui n'aurait jamais fait qu'un peu plus de 10%, et serait resté probablement tolérable, la production éolienne de Miquelon serait devenue égale à sa consommation. Il aurait pu alors être triomphalement annoncé que, grâce à l'éolien, Miquelon couvrait dorénavant 100% de sa consommation. En la multipliant par 4, il aurait pu même être annoncé tout aussi triomphalement que, de plus, elle était rentrée dans le club des exportateurs d'électricité.

C'est à peu près exactement ce qui se passe avec le Danemark d'aujourd'hui: ne nous annonce-t-on pas régulièrement que l'éolien fournit dorénavant plus de 50% de sa consommation?
C'est uniquement sa très forte interconnexion avec ses voisins, et en particulier avec la Suède et la Norvège, qui disposent d'un important potentiel de barrages régulateurs, qui lui permet d'injecter sur le réseau toute sa production éolienne. Evidemment, cela n'a été en outre possible que parce que le Danemark est un petit pays et que, en valeur absolue, cette production demeure limitée.

Mais, comme on l'a vu plus haut (cf fig. A1-4, en particulier), c'est aussi uniquement une telle interconnexion qui permet à l'Allemagne, en exportant en tant que de besoin ce dont il est nécessaire qu'elle se débarrasse, d'injecter actuellement plus de 25% d'éolien et de solaire (24,6% en 2018 : 17,5% pour l'éolien et 7,1 % pour le solaire). En volume, ces quantités d'énergie exportées sont évidemment autrement plus importantes que celle du Danemark.
Si l'on analysait de même la situation de l'Espagne et la Grande Bretagne, autres gros producteurs éoliens, on trouverait à peu près certainement, comme pour l'Allemagne, que leurs exportations sont essentiellement de l'éolien.

6-En ce qui concerne l'électricité « exportée » d'origine intermittente, elle se répand dans les pays voisins, où elles évincent en priorité le nucléaire, lorsqu'il y en a; dans tous les cas elle perturbe le fonctionnement des réseaux concernés.

▪ Quand on parle d'exportation ou d'importation, il est en général considéré qu'il s'agit de transactions consenties par les deux parties, en fonction de leur intérêt mutuel. Si l'adjectif « exporté » a été mis entre guillemets, c'est qu'en l'occurrence ce n'est pas du tout le cas. Quand l'Allemagne injecte en en un point

[42] Notamment l'étude en ref. 10 du Groupe d'information sur les éoliennes de La Roche sur Ardenne

donné de l'éolien ou du solaire, conformément à la règle européenne transposée dans son droit national imposant qu'on leur donne la priorité, les lois de Kirchoff[43] étant ce qu'elles sont, il se répand sur l'ensemble du réseau européen en fonction de la capacité des lignes et de leur encombrement, jusqu'à ce qu'il ait été consommé ou dissipé par les pertes en ligne. Il s'agit donc d'une exportation forcée.

▪ Que deviennent alors ces exportations forcées? Dans le cas de la France, qui a été analysé en détail, c'est très simple : exactement par les mêmes mécanismes que pour l'éolien et le solaire français ils remplacent avant tout du nucléaire, faisant ainsi baisser un peu plus son facteur de charge, et donc sa rentabilité.
En 2018 ce n'est pas uniquement les 38 Twh d'éolien et de solaire français qui ont été injectés sur le réseau français, mais très vraisemblablement, en supplément, les 18,6 Twh correspondant au total des importations en provenance des pays limitrophes forts producteurs d'intermittent : l'Allemagne (12,4 Twh), l'Espagne (4,4 Twh), et l'Angleterre (1,8 Twh). Soit au total 56,6 Twh d'électricité issue de sources intermittentes, soit plus que la production de thermique à combustible fossile de 2006 (54 Twh), dont on a vu qu'elle n'avait pas diminué.
Dans les autres pays, cela dépend : cela peut-être du thermique à combustible fossile, mais, si le pays concerné dispose de nucléaire, c'est très certainement aussi surtout du nucléaire, par le même mécanisme que celui qui a été décrit au §4.2.

▪ Les injections dans leur réseau d'électricité issue de sources intermittentes déstabilisent les voisins de l'Allemagne. La Pologne s'est carrément rebellée, en installant à sa frontière des transformateurs déphaseurs lui permettant de maîtriser les flux en provenance de son voisin (ce qui est bien sûr en opposition frontale avec les directives européennes).
Voir à ce sujet l'étude de « Sauvons le climat » en ref. 9[44]. Depuis 2015, il est de fait que les exportations nettes vers la Pologne ont fortement diminué. A noter que la Belgique a fait de même à sa frontière avec la Hollande, qui est chez elle le point d'entrée des exportations allemandes.

7- Au total, au niveau de l'Union Européenne considérée dans son ensemble, après 20 ans d'une politique de promotion forcenée de l'éolien et du solaire, un bilan carbone dont il n'est même pas certain qu'il soit positif.

▪ Pour comprendre ce qui se passe, il faut raisonner sur des systèmes isolés, autrement dit considérer globalement le système électrique isolé que constitue l'ensemble des réseaux interconnectés européens. On peut ainsi résumer ce qui se passe :
- lorsque l'on injecte de l'intermittent, c'est essentiellement du nucléaire[45] qui est évincé en priorité, pas du thermique à combustible fossile. Avec comme conséquence que, d'une part, on ne réduit absolument pas les émissions de CO2, et que, d'autre part, on diminue la rentabilité de la seule source capable de façon sûre de fournir des quantités très importantes d'électricité décarbonée.
- Il n'y a pas grand risque à parier que, si l'on considère non pas uniquement l'Allemagne et la France, mais l'ensemble des réseaux interconnectés européens, il n'est même pas certain que le bilan carbone soit positif.

[43] Lois établies en 1845 par le physicien allemand Gustav Kirchoff. Tout se passe physiquement comme si l'ensemble des réseaux européens interconnectés constituaient un réseau maillé unique. Evidemment, les électricités issues des diverses sources ne peuvent y être distinguées. L'origine de l'électricité consommée en un point donné à un instant donné résulte en outre de ce qui a été injecté à cet instant sur l'ensemble du réseau européen (évidemment, si l'on est à Biarritz, on aura très nettement moins d'éolien allemand que si l'on est en Alsace).
A noter que payer plus cher pour acheter de « l'électricité verte » ne change rien à ce qui se passe. Cela ne change rien à la quantité d'éolien et de solaire injectés, puisque de toutes façon ils sont leur injection est prioritaire et que leur prix d'achat est garanti au producteur: c'est simplement une contribution volontaire à la subvention de l'éolien et du solaire en France et dans les pays limitrophes. En ce qui concerne l'hydroélectricité, cela ne change strictement rien non plus : le potentiel hydroélectrique est déjà totalement exploité, et l'hydroélectricité n'a nul besoin de subvention pour être extrêmement rentable, et pour que, amortis depuis longtemps, les barrages soient de véritables vaches à lait.
[44] Voir ref.9 « Des prix négatifs en Allemagne »- Sauvons le climat – F.Poizat-18 juin 2018
[45] Qui fournit environ 24% de la production européenne totale.

- Si on se trouvait dans la situation maximisant la capacité de l'éolien et du solaire à diminuer les émissions de CO2, c'est-à-dire celle où l'Europe ne serait alimentée que par du thermique à combustible fossile, on en remplacerait probablement au maximum environ 10%.
Cela fixe une limite tout de même très basse à ce que l'on peut au mieux espérer de ces sources intermittentes, en l'absence de stockage de masse (dont on a vu par ailleurs qu'il était irréaliste aux échelles concernées).
- Certes l'interconnexion des réseaux permet à certains pays d'injecter localement de très importantes quantités d'éolien et de solaire, mais, au total, l'appel au combustible fossile n'en est pas pour autant diminué. Si, comme ce sont explicitement les orientations actuelles de l'UE, tous les pays européens faisaient comme l'Allemagne et le Danemark, c'est soit avec la Russie, soit avec une autre planète que nous devrions nous interconnecter pour que puissent être mis à notre disposition les compléments de puissances installées pilotables nécessaires au maintien de la stabilité du réseau européen, et que puissent être évacués nos trop pleins d'électricité intermittente..
- Le forcing actuel de la Commission Européenne pour le développement des interconnexions et des réseaux de transport, combiné avec la priorité d'injection de l'éolien et du solaire, n'a d'autre objet que de permettre d'en injecter au maximum[46]. Comme on l'a vu, cela n'a en fait rien à voir avec la réduction des émissions de CO2.

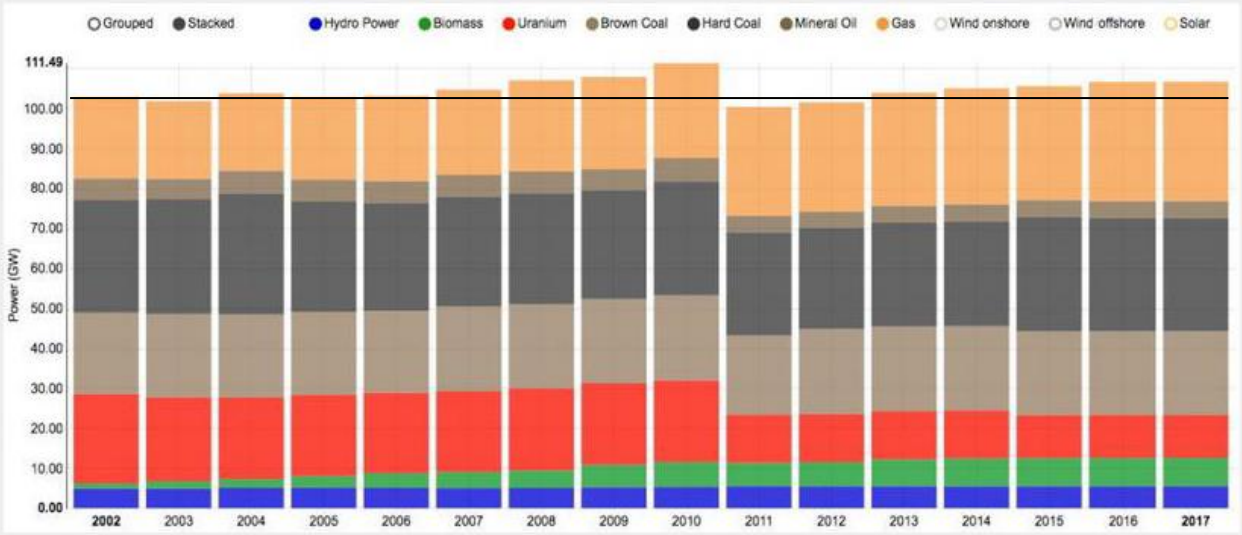
▪ Si l'on regarde ce qui se passe ailleurs dans le monde (voir le tableau de la fig.2 du corps de cette étude), mis à part le cas de la Chine, qui mériterait une étude particulière, la politique de développement massif de l'éolien est restée confinée à la sphère d'influence occidentale, et singulièrement à l'Europe de l'Ouest : elle n'a manifestement toujours pas fait école.
On peut tout de même penser que la Russie, qui est totalement absente du tableau de la fig2 du §2-3 du corps de ce document, est parfaitement consciente de ses intérêts propres, économiques et écologiques, et que c'est en toute connaissance de cause qu'elle a jugé inutile d'exploiter son gigantesque potentiel éolien.
On remarquera aussi, dans ce même tableau, qu'en ce qui concerne le Japon, 9 ans après Fukushima, l'éolien y est toujours marginal.

8- Une règle absolue: quelle que soient les puissances installées intermittentes, garder une puissance installée pilotable supérieure à la puissance consommée maximum, avec de plus une certaine marge de sécurité.

Il s'agit d'une règle de simple bon sens :
- C'est le seul moyen qui, en l'absence de capacités de stockage aux échelles nécessaires, garantisse l'indépendance dans la production d'électricité. Rappelons en outre que, le fameux « effet de foisonnement » n'existant tout simplement pas, il ne faut pas compter sur les productions éoliennes voisines pour nous dépanner quand le vent ne souffle pas chez nous.
- Il permet d'assurer en toute circonstance la stabilité du réseau sans avoir à faire appel aux puissances installées pilotables des pays voisins: quand l'intermittent pose des problèmes de ce point de vue, une solution reste en permanence disponible: limiter son injection sur le réseau.

C'est bien sûr ce qu'a fait l'Allemagne: alors même que sa consommation est la même qu'en 2002 (voir fig.A1-2), la puissance installée pilotable, elle, a augmenté (voir fig.A1-5). **En particulier la puissance installée nucléaire supprimée a été remplacée par une puissance installée thermique au moins égale.**

[46] C'est d'ailleurs parfaitement officiel : il s'agit de faire face aux « enjeux de la transition énergétique »



Evolution de la capacité installée en modes pilotables en Allemagne. Surprise ! Le total est supérieur aujourd'hui à ce qu'il était avant le début de « l'EnergieWende », alors que la consommation n'a pas augmenté, comme on peut le voir ci-dessous, et que les modes ENR se sont développés. Source Fraunhofer Institute.

Germany, Consumption, GWh

Fig.A1-5 (extrait ref.6)

ANNEXE 2

Efficacité de l'éolien et du solaire en ce qui concerne le remplacement du thermique à combustible fossile en France : analyse sur la période 2006-2018

Production électrique 2006-2018 (Twh)													
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
nucléaire	428,7	418,6	418,3	390	407,9	421,1	404,9	404	415,9	416,8	384	379,1	393
thermique à combustible fossile	54	55	53,2	54,8	59,4	51,5	47,9	44,7	27	36,1	45,9	54,4	39
hydraulique	60,9	63,2	68	61,8	68	50,3	63,8	75,7	68,2	58,7	63,9	53,6	68
éolien	2,2	4	5,6	7,8	9,6	12,1	14,9	15,9	17	21,1	20,7	24	28
solaire					0,6	2,4	4	4,6	5,9	7,4	8,3	9,2	10
autres renouvelables	3,3	3,9	4	4,4	4,8	5,6	5,9	6,3	6,6	5,9	8,5	9,1	10
total	**549,1**	**544,7**	**549,1**	**518,8**	**550,3**	**543**	**541,4**	**551**	**540,6**	**546**	**531,3**	**529,4**	**548**
sous total intermittent (éolien+ solaire)	**2,2**	**4**	**5,6**	**7,8**	**10,2**	**14,5**	**18,9**	**20,5**	**22,9**	**28,5**	**29**	**33,2**	**38**
sous total renouvelables	66,4	71,1	77,6	74	83	70,4	88,6	103	97,7	93,1	101,4	95,9	116

Fig.A2-1

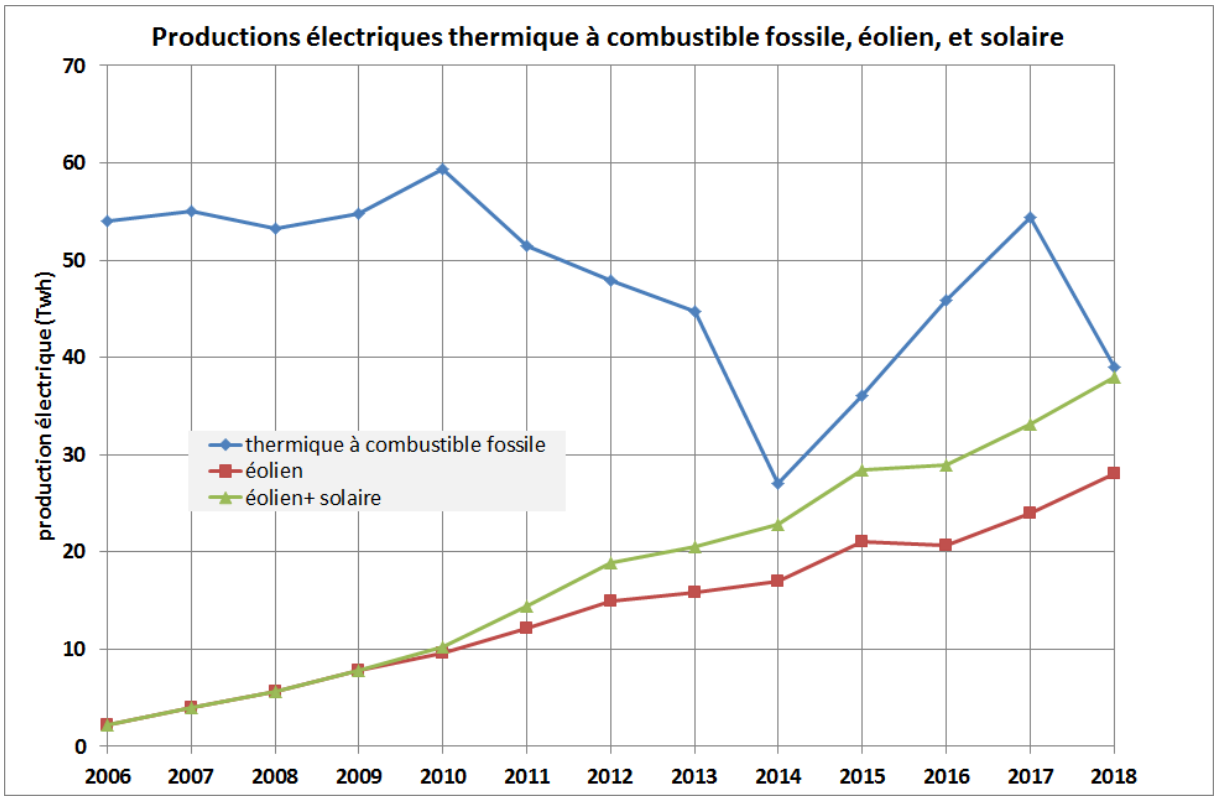


Fig.A2-2

▪ Le graphique ci-dessus fait apparaître la forte variabilité annuelle de la production d'électricité d'origine thermique. Les principaux facteurs d'augmentation sont :

- Les périodes de diminution de la disponibilité des centrales nucléaires, d'où un besoin accru d'appel au thermique pour compléter le nucléaire et l'hydraulique.
- Les périodes de faible pluviosité, qui peuvent obliger à, remplacer de l'hydraulique par du thermique.

- Les périodes de grand froid, qui augmentent l'ampleur des pics de consommation, et donc la nécessité, en tant que de besoin, de compléter par du thermique le nucléaire et l'hydraulique.

La production particulièrement basse de 2014 résultait de la conjonction d'un hiver doux et pluvieux et d'une excellente disponibilité du nucléaire. La production relativement élevée de 2017 de la conjonction de facteurs allant en sens inverse, et la production relativement basse de 2018 d'une conjonction à nouveau nettement favorable.

▪ L'objectif de l'éolien, ainsi que du solaire, était la diminution des émissions de gaz à effet de serre, c'est-à-dire le remplacement du thermique à combustible fossile. Si l'on considère, au vu du tableau A2-1 que la production thermique à remplacer en année « moyenne » est celle de 2006 (54 Twh), l'ensemble éolien+ solaire en représente environ 70% (et l'éolien à lui seul 52%). Une nette diminution du thermique devrait donc en avoir résulté.

Pourtant le graphique de la figure A2-2 ne montre aucun effet visible[47]: ce n'est donc pas du thermique que remplace principalement l'éolien. En fait, c'est du nucléaire (voir §4.2), ce qui est à l'exact opposé de ce qu'indique l'ADEME, qui a estimé[48] que l'éolien remplaçait à 86% du thermique.
Le graphique suivant (fig.A2-3) montre en effet que cette estimation de l'ADEME ne peut être que très grossièrement erronée.

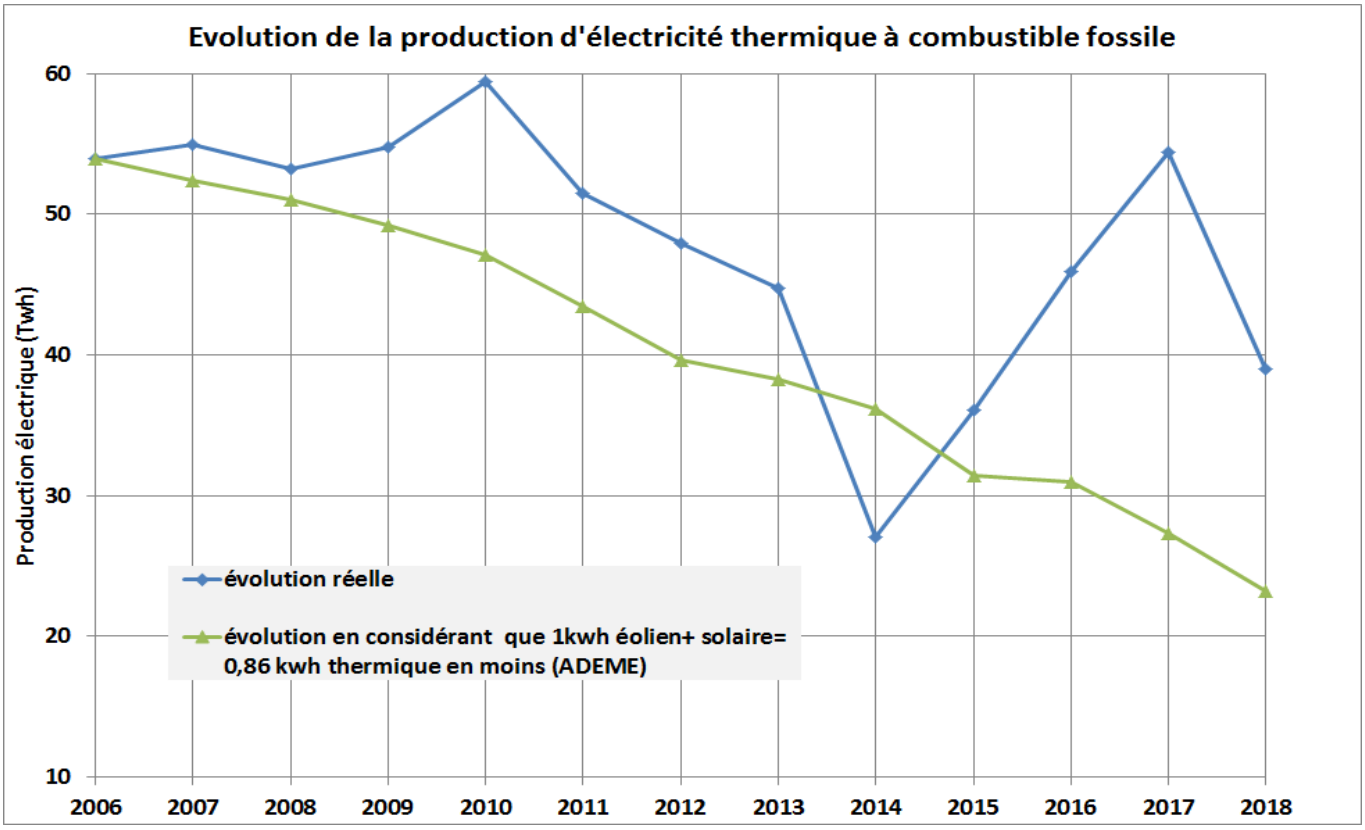


Fig. A2-3

[47] Evidemment, si la courbe de la fig. A2-2 avait été arrêtée en 2014, cela aurait suggéré à l'inverse une remarquable efficacité de l'éolien et du solaire pour diminuer les émissions de CO2. C'est ce que n'ont pas hésité à conclure, en 2017, Jean-Yves Grandidier et Gilles Luneau ,dans « Le vent nous portera ; le pari gagnant de la transition énergétique » p.104 (ref.17)
[48] Ref.3 ADEME-ÉTUDE SUR LA FILIÈRE ÉOLIENNE FRANÇAISE -BILAN, PROSPECTIVE, STRATÉGIE- Synthèse (septembre 2017) p.16

En effet, la production thermique initiale étant 54 Twh, en année moyenne la production thermique ne devrait plus être que 31,8 Twh du fait de l'éolien, et 23,2 Twh du fait de l'ensemble éolien+solaire (en étendant au solaire le coefficient de 0,86: on ne voit pas pourquoi le solaire remplacerait moins le thermique que l'éolien). On est manifestement très loin du compte: en 2018, année relativement favorable, elle a été de 39 Twh (72% de la production initiale), et en 2017, année qui ne l'était pas, de 54,4 Twh (101% de la production initiale).

▪ Aux 38 Twh d'éolien et de solaire injectés sur le réseau en France, il faut vraisemblablement rajouter (voir annexe 1, §6) la majeure partie des importations en provenance de l'Espagne, de l'Angleterre, et surtout de l'Allemagne, soit 18,6 Twh. C'est donc probablement, en fait, plus de 50 Twh d'éolien et de solaire qui ont été injectés en France, c'est-à-dire autant que la production totale de thermique à combustible fossile qui, elle, n'a pas diminué : ils ont uniquement remplacé du nucléaire.

Cela démontre encore plus, si besoin en était, l'incapacité de l'éolien et du solaire à diminuer les émissions de CO2.

Mais, surtout, il faut prendre conscience de ce que le taux d'éviction du nucléaire par l'intermittent subventionné diminue d'ores et déjà très nettement sa rentabilité. Et ceci ne peut que s'aggraver dans les années à venir avec la politique de poursuite de l'augmentation de la production d'intermittent en France et en Allemagne, et d'augmentation des interconnexions avec les pays limitrophes.

ANNEXE 3

LES ETUDES PROPECTIVES DE l'ADEME

▪ Pour éclairer le gouvernement dans la préparation du PPE, dans son choix entre les différents « mix » électriques possibles, l'ADEME a produit en 2018 l'étude suivante: « Trajectoire d'évolution du mix électrique 2020-2060 » (ref.19). A noter qu'une précédente étude (« Un mix électrique 100% renouvelable? Analyses et optimisations » : ref.20) avait été produite en 2015 ; elle avait conclu à la faisabilité d'un tel mix, avec un certain stockage.

Le plus simple est de citer cette étude de 2018 elle-même:

« Il ne s'agit pas de prétendre décider une fois pour toutes le choix d'investissements pour les quarante prochaines années, mais bien de s'assurer qu'un choix fait aujourd'hui ne va pas faire payer des coûts indus à nos enfants et petits-enfants quelques dizaines d'années plus tard » (extrait de l'introduction).

« L'ADEME présente donc ici une étude portant sur différentes trajectoires d'évolution du mix électrique. Le parti pris dans cet exercice est de rester strictement sur une logique d'optimisation économique: il s'agit d'évaluer les trajectoires qui coûteront le moins cher pour la collectivité, en prenant en compte le contexte européen. Les résultats de ces travaux sont interpellants : d'un point de vue strictement économique, la place très prépondérante des énergies renouvelables à long terme dans le système électrique français est sans appel, avec une diversité de moyens de production d'électricité renouvelable, de technologies de stockage et de flexibilité. La prolongation d'une partie du parc nucléaire existant permet néanmoins une transition efficiente d'un point de vue économique et climatique. Enfin le nucléaire de nouvelle génération ne serait pas compétitif pour le système électrique français. » (extrait de la conclusion).

Ce qu'il faut donc en conclure est très clair :

a) Les renouvelables (autrement dit l'éolien et le solaire, car l'hydroélectricité n'aura pas bougé et les autres renouvelables n'ont qu'un faible potentiel de croissance) peuvent parfaitement supplanter totalement le nucléaire en tant que source d'électricité totalement décarbonée.

b) Non seulement c'est possible, mais de plus c'est très nettement la solution économiquement la plus intéressante. C'est-à-dire qu'il n'est même pas nécessaire d'invoquer à l'encontre du nucléaire les risques d'accident, le problème des déchets, etc…

Autrement dit, il est essentiel de ne pas compromettre l'avenir en lançant de nouveaux EPR, avec comme corolaire qu'il faut accélérer le développement de l'éolien et du solaire pour être en mesure de remplacer à temps nos centrales vieillissantes…

On retrouve donc exactement les orientations du PPE actuel: l'ADEME a bien été suivie par le gouvernement. Mieux encore, la date butée de 2035 pour la réduction à 50% de la part du nucléaire a même été trouvée proche de la date correspondant à l'optimum économique (que l'étude situe entre 2030 et 2035).

▪ Ce qui est beaucoup moins clair par contre, ce sont les justifications du a) et du b), qui semblent pourtant devoir être très solidement étayées: on a vu que, justement, l'Allemagne avait consacré financièrement à sa transition écologique le coût du remplacement du parc de réacteurs français actuel par des EPR, et tout cela pour un résultat nul. Au demeurant pas un mot (dans cette étude comme dans celle de 2015) de ce bilan de l'Allemagne (ainsi d'ailleurs que de celui de la France).

Plutôt que de passer des nuits entières à tenter de critiquer cette étude autrement que de façon globale, il est plus simple de se référer à l'étude concurrente de J.M. Jancovici (« 100% renouvelable pour pas plus cher, fastoche ? » : ref. 6), qui compare aussi deux solutions équivalentes du point de vue de la décarbonation : d'une part le remplacement à 100% du nucléaire actuel par du nouveau nucléaire, et d'autre part son remplacement à 100% par du solaire et de l'éolien . Le nucléaire nouveau pris en compte est en outre le même dans les eux cas: c'est l'EPR. Mais cette étude, à l'exact opposé de celle de l'ADEME:

- Décrit de façon claire et précise ce qu'il faut faire pour que, à partir de l'électricité intermittente délivrée par l'éolien et le solaire en des milliers de points éparpillés un peu partout, le consommateur, en bout de chaîne, puisse disposer de kwh garantis[49]. De la sorte le lecteur dispose réellement des éléments lui permettant d'apprécier le réalisme du scénario présenté, ainsi que l'exactitude des coûts calculés.
- Se place explicitement dans l'hypothèse du maintien de l'indépendance de la France (ce que permet à coup sûr la solution où il y a le nucléaire, qui est pilotable).
- Se place explicitement dans l'hypothèse qu'il n'y pas dégradation du service rendu (ce que permet à coup sûr aussi la solution où il y a le nucléaire).
- Veille à faire des estimations de coût sérieuses, en particulier en calculant des coûts moyens sur des durées suffisantes (par exemple il faut prendre en compte que, sur la durée de vie d'un EPR, une éolienne aura du être remplacée au moins 2 à 3 fois).

Dans tous les cas de figure envisagés, même les plus défavorables au nucléaire, on constate que le nucléaire, malgré l'importance de l'investissement initial, est absolument imbattable économiquement, parce qu'il est pilotable et centralisé. Le prix de revient du kwh garanti est au moins 6 fois supérieur dans le cas du 100% renouvelable.

La seule source d'énergie décarbonée qui puisse rivaliser avec le nucléaire, c'est l'hydroélectricité, parce que, elle aussi, elle est pilotable et centralisée.

[49] Sans surprise, un examen un peu approfondi constate que l'étude de l'ADEME compare des coûts de kwh en sortie de la source de production, et non des coûts de kwh garantis.

ANNEXE 4- REFERENCES

1- « Intermittence et foisonnement de l'électricité éolienne en Europe de l'Ouest » - Hubert Flocard et Jean-Pierre Pervès- Sauvons le climat (30/3/2012)
https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/intermittence-et-foisonnement

2- « Pourrait-on alimenter la France en électricité uniquement avec de l'éolien ? » (J.M.Jancovici, 2000, dernière modification 1/7/2014)
https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/pourrait-on-alimenter-la-france-en-electricite-uniquement-avec-de-leolien/

3- ADEME-ÉTUDE SUR LA FILIÈRE ÉOLIENNE FRANÇAISE -BILAN, PROSPECTIVE, STRATÉGIE- Synthèse (septembre 2017)
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/filiere_eolienne_francaise_2017-synthese.pdf

4- « La panne d'un parc éolien et d'une centrale à gaz est à l'origine de l'une des pires coupures d'électricité de Grande-Bretagne depuis des années »
https://news-24.fr/la-panne-dun-parc-eolien-et-dune-centrale-a-gaz-est-a-lorigine-de-lune-des-pires-coupures-delectricite-de-grande-bretagne-depuis-des-annees/

5-« Vers quoi l'Allemagne transitionne-t-elle exactement ? »
https://jancovici.com/transition-energetique/choix-de-societe/vers-quoi-lallemagne-transitionne-t-elle-exactement/

6-« 100% renouvelable pour pas plus cher, fastoche ? »
https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/100-renouvelable-pour-pas-plus-cher-fastoche/

7-« Les énergies renouvelables, c'est juste de l'éolien ? »
https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/les-energies-renouvelables-cest-juste-de-leolien/

8-« Saint-Pierre-et-Miquelon abandonne l'éolien » 17/01/2014
https://www.batiactu.com/edito/saint-pierre-et-miquelon-abandonne-l-eolien-37138.php

9-« Des prix négatifs en Allemagne »- Sauvons le climat – F.Poizat-18 juin 2018
https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/Etude_Poizat_OFNI_juin_2018/Vol-dOFNI.pdf

10-« Problèmes d'un grand réseau électrique éolien » –. Groupe d'information sur les éoliennes (La Roche-en-Ardenne) Dossier sur les coûts et les nuisances des éoliennes Les limites de l'éolien
http://www.leseoliennes.be/economieolien/rapporteon.htm

11- Directive 2001/77/CE « relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité » (ref. 11)
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:283:0033:0040:FR:PDF.

12-Etude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire
http://www.grtgaz.com/fileadmin/engagements/documents/fr/Power-to-Gas-etude-ADEME-GRTgaz-GrDF.pdf

13- Il était une fois l'électricité (Miquelon)
https://www.saintpierreetmiquelon.net/01011997-il-etait-une-fois-lelectricite-miquelon/

14- PPE 2019-2023 2024-2028 ; Synthèse finale.

15- Aprés la loi Brottes .(24/7/2013)- Analyse de Vent de la Colère
https://www.ventdecolere.org/index.php?page=Loi-Brottes

16- Fabien Bouglé « EOLIENNES- La face noire de la transition énergétique » (édition du Rocher-2019)

17- Jean-Yves Grandidier/Gilles Luneau « Le vent nous portera – Le pari gagnant de la transition énergétique » (Manifestô-2017)

18- Projet de décret Lecornu - Analyse de Vent de la colère
https://www.ventdecolere.org/index.php?page=Lecornu

19-ADEME- « Trajectoire d'évolution du mix électrique 2020-2060 »
https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2018/12/ADEME_%C3%A9tude_mix-electrique.pdf

20-ADEME (2015) « Un mix électrique100% renouvelable? Analyses et optimisations- Un travail d'exploration des limites du développement des énergies renouvelables dans le mix électrique métropolitain à un horizon 2050-octobre 2015 » https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/mix-electrique-rapport-2015.pdf

21- DIRECTIVE 2009/28/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL
du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE

22-Note UFE-« Valoriser les flexibilités de production pour intégrer les EnR aux réseaux électriques » (4/11/2019)
https://ufe-electricite.fr/IMG/pdf/note_flexibilites_et_s3renr_4_novembre_2019_vf.pdf

23-Intégration technique de l'éolien au réglage du système électrique
Eolien : la filière innove à l'heure de la transition vers le marché
https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/eolien-fee-innovation/rte-enedis-integration-technique-eolien-reglage-systeme-electrique.php

24-ADEME- L'éolien- Mis à jour le 10/01/2019
https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-lelectricite/leolien
L'éolien et l'équilibre du réseau

25- France Energie Eolienne
https://fee.asso.fr/actu/les-acteurs-de-la-filiere-tiennent-leurs-engagements-pour-2018-en-matiere-de-puissance-raccordee/

26- Rapport dit « Julien Aubert » (annexe 18 au rapport n°1990)
http://www.assemblee-nationale.fr/15/rapports/r1990-a18.asp

27- Sauvons le Climat http://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/Integration.pdf

28- LES ÉOLIENNES Rapport du groupe de travail de l'Académie des Beaux-Arts
http://www.academiedesbeauxarts.fr/upload/Eoliennes/Eoliennes.pdf

29-https://stopthesethings.com/2020/02/07/cash-cow-uk-wind-farms-paid-650000000-in-constraint-payments-to-not-produce-power/#respond

30- Hubert Flocard « Vent de terre, vent de mer »
http://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/111030_texterobinrigg-3.pdf

31- https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr